



การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพูลของเอทานอลโดยติดตั้งใบ
หมุนเหนือพื้นผิวให้ความร้อน

POOL BOILING HEAT TRANSFER ENHANCEMENT OF ETHANOL WITH
PASSIVE ROTATING BLADES INSTALLED ABOVE THE HEATING SURFACE

ปารเมศ บริรักษ์

PARAMED BORIRAK

สุทธิรักษ์ อ่อซ้าย

SUTTHIRAK ORSAY

ปวเรศ ช้วนเล่ง

PAWARET SUNALENG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพูลของเอทานอลโดยติดตั้งใบ
หมุนเหนือพื้นผิวให้ความร้อน


POOL BOILING HEAT TRANSFER ENHANCEMENT OF ETHANOL WITH
PASSIVE ROTATING BLADES INSTALLED ABOVE THE HEATING SURFACE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POOL BOILING HEAT TRANSFER ENHANCEMENT OF ETHANOL WITH
PASSIVE ROTATING BLADES INSTALLED ABOVE THE HEATING SURFACE

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a large, circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The emblem is surrounded by Thai script. The text in the center of the seal reads: PARAMED BORIRAK, SUTTHIRAK ORSAY, PAWARET SUNALENG.

PARAMED BORIRAK
SUTTHIRAK ORSAY
PAWARET SUNALENG

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 CAMPUS

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHONE CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพูลของเอทานอลโดยติดตั้งใบหมุนเหนือพื้นผิวให้ความร้อน

PROJECT TITLE POOL BOILING HEAT TRANSFER ENHANCEMENT OF ETHANOL WITH PASSIVE ROTATING BLADES INSTALLED ABOVE THE HEATING SURFACE


ชื่อนักศึกษา นาย ปารเมศ บริรักษ์ รหัสประจำตัว 62201233
นาย สุทธิรักษ์ อ่อชัย รหัสประจำตัว 62201237
นาย ปวเรศ ช้วนเล่ง รหัสประจำตัว 62201232

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อติเรก สุริยะวงค์

ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
รศ.ดร. ศิระ	สายศร	กรรมการสอบ	
ผศ. วรราชชล	วัฒน์	กรรมการสอบ	
ผศ. วชร	กาลาสี	กรรมการสอบ	
ดร. ศักรินทร์	ชินกุลพิทักษ์	กรรมการสอบ	
ดร. อติเรก	สุริยะวงค์	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 9 มิถุนายน 2565 เวลา 13.00-17.00 น.

สถานที่ ห้องประชุมวิทยาศาสตร์ อาคารปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ชั้น 1

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ กรกฎาคม พ.ศ. 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพูลของเอทานอลโดยติดตั้งไบหมุนเหนือพื้นผิวให้ความร้อน		
ชื่อนักศึกษา	นาย ปารเมศ บริรักษ์	รหัสประจำตัว	62201233
	นาย สุทธิรักษ์ อ่อซ่าย	รหัสประจำตัว	62201237
	นาย ปวเรศ ช้วนเล่ง	รหัสประจำตัว	622012323
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อติเรก สุริยะวงศ์		
ปริญญานิพนธ์			

บทคัดย่อ

ในการศึกษาเชิงทดลองของการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและปรากฏการณ์ขณะเกิดการเดือดของเอทานอลโดยติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน สารทำงานที่ใช้ในการทดลองเป็นเอทานอลที่มีความเข้มข้น 25, 75 และ 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ไบหมุนทำจากวัสดุพอลิแลคติกแอซิดมีจำนวนใบของไบหมุนเท่ากับ 4 ใบ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร, แขนไบหมุน 5 มิลลิเมตร, ความยาว 50 มิลลิเมตร, และมุมบิด ไบหมุน 90 องศา ระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อนเท่ากับ 5, 15 และ 25 มิลลิเมตร จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของสารทำงานมีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของพื้นผิวให้ความร้อน เมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารทำงานเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง

คำสำคัญ : สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, การเดือดแบบพูล, เอทานอล

Project Title	POOL BOILING HEAT TRANSFER ENHANCEMENT OF ETHANOL WITH PASSIVE ROTATING BLADES INSTALLED ABOVE THE HEATING SURFACE	
Student	Mr. Paramed Borirak	Student ID 62201233
	Mr. Pawaret Sunaleng	Student ID 62201232
	Mr. Sutthirak Orsay	Student ID 62201237
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Project Advisor	Dr. Adirek Suriyawong	

Abstract

In an experimental study of pool boiling heat transfer enhancement and the phenomenon of ethanol with passive rotating blades installed above the heating surface. The ethanol with various concentrations of 25, 75 and 95 vol.% are employed. The rotating blades were made from polylactic acid (PLA) material, with a diameter of 30 mm, a core of 5 mm, a length of 50 mm, and a blade angle of 90°. The rotating blade distance between the heating surface and rotating blades (L_{SB}) were 5, 15 and 25 mm. The experimental results show that the heat transfer coefficient decrease with an increase in the concentration of working fluid. In addition, the heat transfer coefficient decreases with an increase in the distance between the heating surface and rotating blades (L_{SB}).

Keywords : heat transfer coefficient, pool boiling, ethanol

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณ รศ.ดร. ศิระ สายศร ดร. อติเรก สุริยะวงศ์ ข้อมูลที่ทำให้เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินโครงการขอบคุณภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพรที่ให้การสนับสนุนสถานที่สำหรับการดำเนินงาน การทำและทดลอง

ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่สนับสนุนทุนทรัพย์ตลอดมาในการศึกษาและการเป็นอยู่ เพื่อนร่วมรุ่น ทุกท่านและช่างเทคนิคสาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเกษตรในการช่วยเหลือการทำงาน ตลอดจนบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่คอยให้การสนับสนุนให้กำลังใจ และคำปรึกษาเสมอมา

ปวเรศ ช้วนเล่ง
ปารเมศ บริรักษ์
สุทธิรักษ์ อ่อซ่าย
มิถุนายน 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหาโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 ขั้นตอนในการทำงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 การนำความร้อน	7
2.3 การแผ่รังสีความร้อน	10
2.4 การพาความร้อน	10
2.5 Flow boiling	13
2.6 Pool boiling	13
2.7 Subcooled boiling	14
2.8 Saturated boiling	14
2.9 Natural convection boiling	19
2.10 Nucleate boiling	20
2.11 Transition boiling	20
2.12 Film boiling	21
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
2.14 ตารางวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	39
3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 การสอบเทียบอุปกรณ์การทดลอง	46
4.2 ผลการทดลองทดลองโดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารทำงาน	47
4.3 ผลการทดลองโดยเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างไบโหมนกับพื้นผิวให้ความร้อน	51
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	59
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	60
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลทางเทคนิค	65
ภาคผนวก ข. Linear least square method	67
ภาคผนวก ค. ข้อมูลการทดลอง	71
ภาคผนวก ง. ปราบกฏการณ์การเดือด	77
ภาคผนวก จ. การออกแบบ	102
ประวัติผู้จัดทำ	158

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่าการนำความร้อนของสารบางชนิด	8
2.2	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลบางชนิด	11
5.1	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการติดตั้งใบหมุนไว้บริเวณเหนือพื้นผิวให้ความร้อน	60
ค. 1	ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพุลที่ไม่ติดตั้งใบหมุน	71
ค. 2	ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อน ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 25 เปอร์เซ็นต์ระหว่างการเดือดแบบพุลเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน	71
ค. 3	ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อน ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์ระหว่างการเดือดแบบพุลเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน	72
ค. 4	ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อน ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ระหว่างการเดือดแบบพุลเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน	72
ค. 5	ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 25 เปอร์เซ็นต์	73
ค. 6	ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์	73
ค. 7	ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์	74
ค. 8	ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 25 เปอร์เซ็นต์	74
ค. 9	ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค. 10	ผลการทดลองที่ติดตั้งไบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์	75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ภาพแสดงการระเหยของน้ำในกาต้มน้ำ	4
2.2	ภาพแสดงการเปลี่ยนสถานะของสสาร	5
2.3	รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำการพาและการแผ่รังสี 1 สภาวะ สม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ (Steady State and Unsteady State)	6
2.4	ภาพแสดงลักษณะการนำความร้อน	9
2.5	แสดงการเดือดตามลักษณะการเคลื่อนที่ของสารทำงานคือ Pool Boiling และ Flow Boiling	13
2.6	แสดงการเดือดแบบ Subcooled boiling	14
2.7	แสดงการเดือดแบบ saturated boiling	15
2.8	แสดงการเดือดลักษณะอุณหภูมิจากสารทำงานคือ Subcooled boiling	15
2.9	แสดงการเดือดลักษณะอุณหภูมิจากสารทำงานคือ saturated boiling	15
2.10	แสดงในแผนภาพความดันกับอุณหภูมิที่แสดงกระบวนการเปลี่ยนสถานะของ (Vapor phase) กระบวนการเกิดการเดือดจะเริ่มจากจุด Triple point ไปจนถึงจุด Critical point	16
2.11	ลักษณะของ Pool boiling curve ที่ได้จากการทดลอง	16
2.12	แสดง pool boiling curve ของน้ำที่ความดันบรรยากาศ	17
2.13	แสดงการเคลื่อนที่แบบหมุนวนด้วย Nucleate boiling	18
2.14	แสดงการถ่ายเทความร้อนในช่วง Low Heat Flux	18
2.15	แสดงการถ่ายเทใน ช่วง high heat flux	19
2.16	แสดงการพาความร้อนตามธรรมชาติ	19
2.17	แสดงพลังงานที่สร้างขึ้นที่พื้นผิว การถ่ายเทความร้อนถูกถ่ายเทออกอย่างรวดเร็ว	20
2.18	การถ่ายเทความร้อนจะลดลง การเปลี่ยนแปลงไปสู่การเดือดของฟิล์ม	21
2.19	แสดงฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้นอีกทำให้ฟิล์มไอระเหยปกคลุมพื้นผิว	22
3.1	แผนภาพของอุปกรณ์การทดลอง	39
3.2	แผนภาพสายเส้นของอุปกรณ์การทดลอง	40
3.3	หม้อแปลงแบบปรับค่าได้ (Voltage Regulator)	40
3.4	มาโนมิเตอร์แบบตัวยู	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.5	ระบบหล่อเย็น	41
3.6	ระบบตรวจวัดอุณหภูมิ	42
3.7	ระบบลม และ หัวฉีด	42
3.8	ลักษณะของแกนที่ใช้ในการติดตั้งใบหมุน	43
3.9	ลักษณะของใบหมุนที่ใช้ในการทดลอง	43
3.10	แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองการถ่ายเทความร้อนของการเดือด	45
4.1	การเปรียบเทียบผลการทดลองปัจจุบันกับสหสัมพันธ์ของ Rohsenow และข้อมูลการทดลองของนักวิจัยท่านอื่น	46
4.2	คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน 25,75 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างใบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร	48
4.3	คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน 25,75 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตรคุณลักษณะการถ่ายเท	49
4.4	คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน 25,75 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร	50
4.5	คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 ,15,25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ	52
4.6	คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5, 10 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ	53
4.7	คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างใบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อน 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	ปรากฏการณ์การเดือดของ เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ที่ระยะห่างใบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อน 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ	55
4.9	ปรากฏการณ์การเดือดของ เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ที่ระยะห่างใบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อน 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ	56
4.10	ปรากฏการณ์การเดือดของ เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ที่ระยะห่างใบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อน 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ	57
4.11	ปรากฏการณ์การเดือดของ น้ำกลั่น ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ที่ระยะห่างใบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อน 5,15,25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ	58
ง. 1	(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรากฏการณ์การเดือดที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	77
ง. 1	(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรากฏการณ์การเดือดที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	8
ง. 2	(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรากฏการณ์การเดือดที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	79
ง. 2	(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรากฏการณ์การเดือดที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	80
ง. 3	(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรากฏการณ์การเดือดที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	81
ง. 3	(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรากฏการณ์การเดือดที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	82
ง. 4	(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของสารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบน้ำร้อนเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร	83

สารบัญรูป (ต่อ)

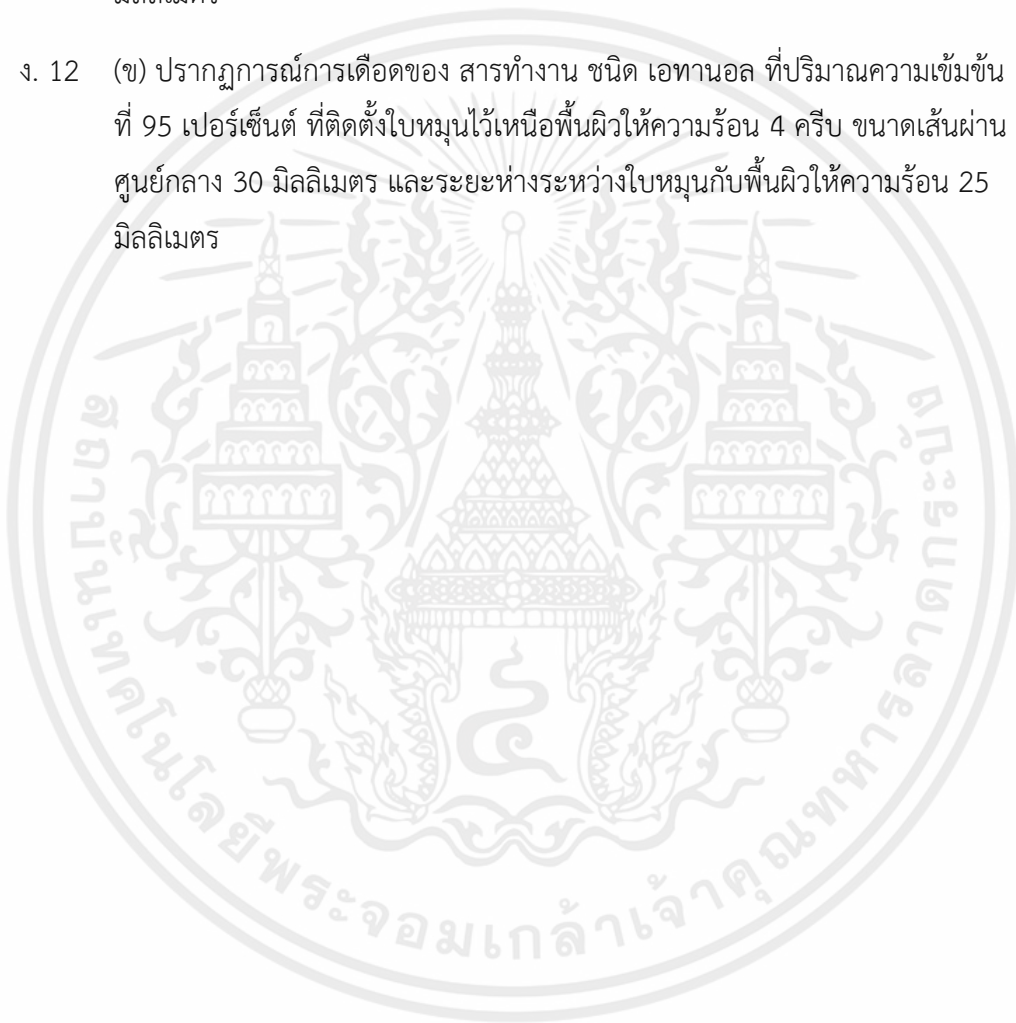
รูปที่		หน้า
ง. 4	(ข) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร	84
ง. 5	(ก) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร	85
ง. 5	(ข) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร	86
ง. 6	(ก) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร	87
ง. 6	(ข) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร	88
ง. 7	(ก) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร	89
ง. 7	(ข) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร	90
ง. 8	(ก) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร	91

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ง. 8	(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร	92
ง. 9	(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร	93
ง. 9	(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร	94
ง. 10	(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร	95
ง. 10	(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร	96
ง. 11	(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร	97
ง. 11	(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร	98

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ง. 12	(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร	99
ง. 12	(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร	100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาโครงการงาน

ในปัจจุบันโลกของเราทุกวันมีการวิวัฒนาการก้าวไกลไปมาก ทั้งด้านเทคโนโลยี ด้านเกษตรกรรม โดยวิวัฒนาการในแต่ละด้านที่กล่าวนี้ได้มาจากการพัฒนาองค์ความรู้ในทุกๆ สาขาวิชา องค์ความรู้ในแต่ละสาขาพัฒนาขึ้นจากผลงานวิจัยของนักวิจัยในสาขานั้นๆ งานวิจัยด้านการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดถือเป็นงานวิจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาในด้านเทคโนโลยีอย่างมาก ในการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมรรถนะสูงขึ้นแต่อุปกรณ์ก็ผลิตความร้อนในปริมาณที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน ความร้อนที่สูงขึ้นในอุปกรณ์ส่งผลทำให้สมรรถนะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลดลงจึงจำเป็นต้องระบายความร้อนออกจากอุปกรณ์ อุปกรณ์ผลิตไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไอน้ำให้มีสมรรถนะที่สูงขึ้น เป็นต้น ในการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนขณะเกิดการเดือดของเอทานอลโดยมีไบเมตหมุนอยู่เหนือพื้นที่การถ่ายเทความร้อน มีความจำเป็นอย่างมากต่อภาคอุตสาหกรรม หลายปีที่ผ่านมา มีนักวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจทำการศึกษา การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนขณะเกิดการเดือดของเอทานอลโดยมีไบเมตหมุนอยู่เหนือพื้นที่การถ่ายเทความร้อน โดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกันไป

การใช้เทคนิคการปรับปรุงพื้นผิวให้ความร้อนสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ 1) ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวให้ความร้อน 2) การเคลือบพื้นผิวให้ความร้อน 3) ผลของรูปทรงพื้นผิวให้ความร้อน ในแต่ละลักษณะจะช่วยเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือด จากการสำรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคนิคการปรับปรุงพื้นผิวให้ความร้อน เทคนิคการปรับปรุงพื้นผิวให้ความร้อนเป็นเทคนิคที่นักวิจัยให้ความสนใจมากเป็นพิเศษ เพราะสามารถทำให้คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นโดยไม่ต้องเปลี่ยน ของเหลวในการทำงาน ในระบบ จึงสามารถนำไปใช้ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ

จากการทบทวนค้นคว้าเอกสารพบว่า การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนขณะเกิดการเดือดของเอทานอลโดยมีไบเมตหมุนอยู่เหนือพื้นที่การถ่ายเทความร้อน โดยใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพถ่ายเทความร้อนขณะเกิดการเดือดของเอทานอล เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ปัจจัยหลักในการศึกษา และข้อมูลในฐานข้อมูลจากการค้นคว่ายังมีอยู่น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาเฉพาะการเดือดแบบพุดการวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องของผู้เขียนที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมเดือดแบบนิวคลีเอต ของของไหลนาโน บนผิวให้ความร้อนชนิดต่าง ๆ ซึ่งเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงาน วิจัยทางด้านการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการเดือดแบบพุด

Huang และคณะ (2011) ทำการทดลองหาลักษณะ เฉพาะการเดือดแบบพุดของของไหลนาโนชนิดศึกษา TiO₂-water nano-fluids ที่มีความเข้มข้น 0.01 ถึง 1%wt.(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) บนผิวลวดนิกเกิล ภายใต้ฟลักซ์ ความร้อนไม่เกิน 1000 kW/m² ผลการทดลองพบว่าค่าฟลักซ์ ความร้อนวิกฤติ (Critical Heat Flux--CHF) ของของไหล นาโนมีค่าสูงกว่าน้ำประมาณ 82% อย่างไรก็ตามการเกาะตัวของอนุภาคนาโนบนผิวให้ความร้อนมีผลทำให้เส้นโค้งการเดือด (boiling curve) นั้นมีแนวโน้มต่ำลง

ผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการเดือดแบบพุดของน้ำให้ค่าสอดคล้องกับการทำนายโดยใช้สมการของ Rohsenow และสมการของ Cooper โดยมีค่าสูงขึ้นไปตามค่าฟลักซ์ความร้อนและผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวความร้อนกับของไหลเมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของของไหลนาโนพบว่า ที่ความเข้มข้นไม่เกิน 0.03 % V.ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงกว่าน้ำโดยเสียระหว่าง 4 ถึง 23 % แต่จะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของของไหล นาโนเท่ากับ 0.04 %V

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1. เพื่อศึกษาจำนวนใบของใบหมุ่นที่มีผลต่อคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนแล้วสัมประสิทธิ์ของการ ถ่ายเทความร้อนแบบการเดือด
- 1.2.2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพความเข้มข้น ของเอทานอลแต่ละความเข้มข้น
- 1.2.3. เพื่อศึกษาผลของระยะห่างของใบหมุ่นที่มีผลต่อคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนแล้วสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือด
- 1.2.4. เพื่อศึกษาปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดที่ติดตั้งใบหมุ่นไว้เหนือพื้นผิวให้ความ ร้อน

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

- 1.3.1. คุณลักษณะของการเดือดและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดของ เอทานอล ที่ติดปลายใบหมุ่น เหนือพื้นผิวให้ความร้อนจะมีการถ่ายเทความร้อนสุทธิที่เกิดขึ้น เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่างของไบหมุนและปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวใช้ความร้อนแตกต่างกันดังนั้นจะเป็นการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่สมบูรณ์แบบ

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.4.1. ใช้เอทานอลเป็นสารทดลอง
- 1.4.2. ใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 95 เปอร์เซ็นต์
- 1.4.3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไบหมุนเท่ากับ 30 มิลลิเมตร
- 1.4.4. ไบหมุนมีมุมบิด 90 องศา ความสูง 50 มิลลิเมตร
- 1.4.5. ไบหมุนทำจากวัสดุ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid)
- 1.4.6. ทำการทดลองในช่วงเกิดการเดือด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1. เพื่อทราบถึงคุณลักษณะของการเดือดและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบ การเดือดของ เอทานอล ความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดปลายหมุนใช้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

1.6 ขั้นตอนในการทำงานวิจัย

- 1.6.1. เลือกหัวข้อปัญหาที่จะศึกษาวิจัย
- 1.6.2. ศึกษาค้นคว้ารวบรวมแนวคิดและทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.6.3. กำหนดขอบเขตของปัญหา คำถามและวัตถุประสงค์การวิจัย
- 1.6.4. ค้นหาและกำหนดสมมติฐานของการวิจัย
- 1.6.5. นำแนวคิดและทฤษฎีมาสร้างปัจจัยหรือตัวแปรที่ส่งผลต่องานวิจัย
- 1.6.5. สร้างเครื่องมือเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ
- 1.6.6. การเก็บรวบรวมข้อมูลและการตรวจสอบข้อมูล
- 1.6.7. การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
- 1.6.8. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาบทสรุปของงานวิจัย
- 1.6.9. การสรุปผลและการอภิปรายผล
- 1.6.10. การจัดทำรายงานวิจัยและรูปเล่มวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะอธิบายหลักการถ่ายเทความร้อนรายละเอียดหลักการทำงานของ การถ่ายเทความร้อนแต่ละประเภทพร้อมกับระบบการถ่ายเทความร้อนของการเชื่อมต่อระบบต่างๆ รวมไปถึงข้อมูลที่มาใช้ในการสร้างเครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน เพื่อเป็นแนวทางสู่กระบวนการวิจัย และ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อน ดีตรงตามเป้าหมาย

2.1.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

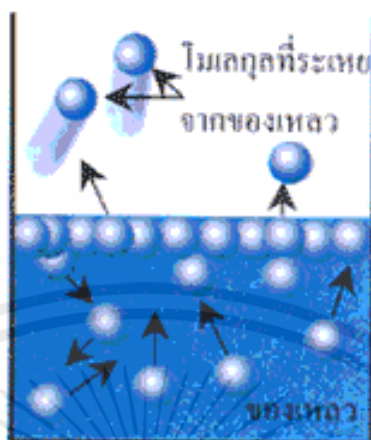
2.1.1 การระเหย (Evaporation) หมายถึง การที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะจากของเหลว กลายเป็นไออย่างช้าๆ และเกิดขึ้นเฉพาะผิวน้ำของของเหลวเท่านั้น นอกจากนั้นการระเหยยังสามารถเกิดได้ทุกๆ อุณหภูมิที่ยังมีของเหลวนั้นอยู่ เช่น น้ำสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิ 0-100 °C ที่ ความดัน 1 บรรยากาศ



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงการระเหยของน้ำในกาต้มน้ำ

2.1.2 การกลายเป็นไอการกลายเป็นไอ (Vaporization) หมายถึง การที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ เมื่อของเหลวได้รับพลังงานความร้อนพอที่จะทำให้โมเลกุลมีพลังงานจลน์สูงพอจนเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้ โมเลกุลก็จะหลุดออกจากของเหลวกลายเป็นไอ ในทางตรงกันข้ามถ้าไอคายพลังงานความร้อนออกมา โมเลกุลก็จะมีพลังงานจลน์น้อยลง ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่ช้าลง ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากขึ้น และในที่สุดจะสามารถทำให้โมเลกุล

รวมกันเป็นสารในสถานะของเหลว การที่สารเปลี่ยนสถานะจากไอหรือแก๊สเป็นของเหลว เรียกว่า การควบแน่น หรือการกลั่นตัว (Condensation)



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงการเปลี่ยนสถานะของสาร

สำหรับโมเลกุลของของเหลวจะระเหยพวกเขาจะต้องอยู่ใกล้กับพื้นผิวที่พวกเขาจะต้องไปในทิศทางที่เหมาะสมและมีเพียงพอพลังงานจลน์ที่จะเอาชนะของเหลวแรงระหว่างโมเลกุลเมื่อโมเลกุลเพียงเล็กน้อยตรงตามเกณฑ์เหล่านี้ อัตราการระเหยจะต่ำเนื่องจากพลังงานจลน์ของโมเลกุลเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิ การระเหยจึงดำเนินไปอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงขึ้นในขณะที่โมเลกุลที่เคลื่อนที่เร็วกว่าหลบหนี โมเลกุลที่เหลือจะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยต่ำกว่าและอุณหภูมิของของเหลวจะลดลงปรากฏการณ์นี้เรียกว่ายัง evaporative เย็นนี่คือเหตุผลที่เหงื่อระเหยทำให้ร่างกายมนุษย์เย็นลง การระเหยยังมีแนวโน้มที่จะดำเนินการได้รวดเร็วยิ่งขึ้นมีอัตราการไหลที่สูงขึ้นระหว่างก๊าซและของเหลวและของเหลวที่มีสูงกว่าความดันไอตัวอย่างเช่น การซักผ้าบนราวตากผ้าจะแห้ง (โดยการระเหย) อย่างรวดเร็วในวันที่มีลมแรงมากกว่าในวันที่สงบนิ่ง สามส่วนสำคัญในการระเหยคือความร้อน ความกดอากาศ (กำหนดเปอร์เซ็นต์ความชื้น) และการเคลื่อนที่ของอากาศ ในระดับโมเลกุลไม่มีขอบเขตที่เข้มงวดระหว่างสถานะของเหลวและสถานะไอ แต่มีเลขเอร์ Knudsen แทน ซึ่งเฟสจะไม่ถูกกำหนดเนื่องจากชั้นนี้มีความหนาเพียงไม่กี่โมเลกุล ในระดับมหัพภาค จะมองไม่เห็นส่วนต่อประสานการเปลี่ยนเฟสที่ชัดเจน ของเหลวที่ไม่ระเหยอย่างเห็นได้ชัดที่อุณหภูมิที่กำหนดในก๊าซที่กำหนด (เช่น น้ำมันปรุงอาหารที่อุณหภูมิห้อง มีโมเลกุลที่ไม่มีแนวโน้มที่จะถ่ายเทพลังงานให้กันและกันในรูปแบบที่เพียงพอต่อการทำให้โมเลกุลมีพลังงานความร้อนที่จำเป็นต่อการหมุนเวียน กลายเป็นไอ อย่างไรก็ตาม ของเหลวเหล่านี้กำลังระเหย เป็นเพียงกระบวนการที่ช้ากว่ามากและมองเห็นได้น้อยลงอย่างมาก

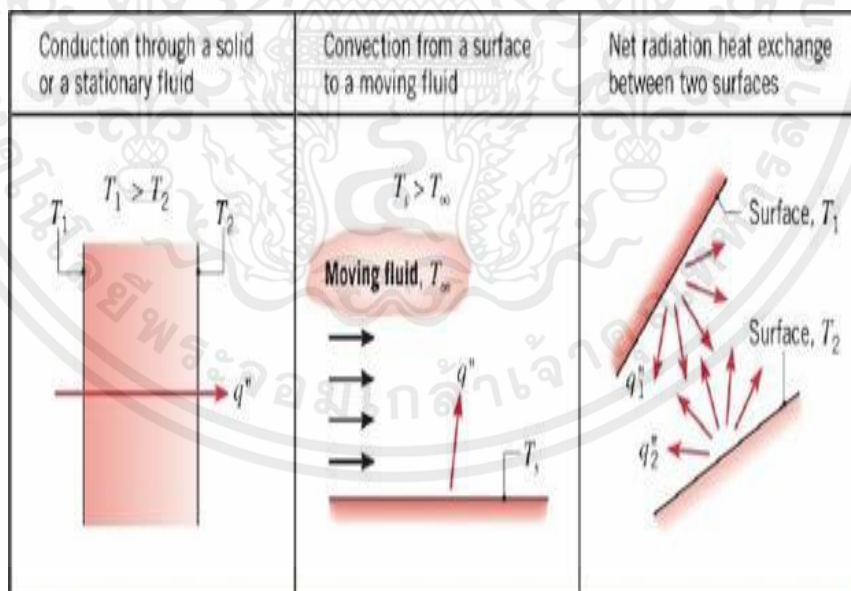
2.1.3 ประเภทของการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อน คือ การส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่าง ของอุณหภูมิ ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในตัวกลางหรือระหว่าง ตัวกลาง การถ่ายเทความร้อนมักจะเกิดขึ้นได้ดังนั้นพื้นฐานของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่ายเทความร้อน คือ “ความแตกต่างของอุณหภูมิ” (Temperature Different) ถ้าตัวกลางสองตัวมีอุณหภูมิเท่ากันจะไม่เกิดการ ถ่ายเทความร้อน ดังนั้นความแตกต่าง ของอุณหภูมิจึงเป็นแรงขับเคลื่อน (Driving Force) เพื่อให้เกิดการถ่ายเทตัวเอง อัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับความลาดชันของอุณหภูมิ(Temperature Gradient) ความลาดชันของอุณหภูมิมายังถึง ความแตกต่างของอุณหภูมิ ต่อหน่วยความยาว หรืออัตราการลดลงของอุณหภูมินั่นเอง สมการพื้นฐานสำหรับกระบวนการถ่ายโอน

$$\text{Rate of a Transfer Process} = \frac{\text{Driving force}}{\text{Resistance}} \quad (2.1)$$

(Temperature Gradient) เกิดขึ้นในตัวกลางที่อยู่นิ่ง เช่นของแข็ง หรือของไหลทอมนของการนำความร้อน Conduction จะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านตัวกลางในขณะที่การพาความร้อน convection จะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวและของไหลที่เคลื่อนที่เมื่อ มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ส่วนการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) จะเป็นการที่ทุกพื้นที่ผิวที่มีอุณหภูมิ หนึ่งจะปล่อยพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาดังนั้นในสถานะที่ปราศจากตัวกลางใดๆจะมีการถ่ายเทความร้อนบริสุทธิ์ที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันได้ดังนั้นการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่สมบูรณ์แบบจำเป็นจะต้องทราบถึงกลไกการถ่ายเทความร้อนทั้งสามแบบที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดในลำดับต่อไป



รูปที่ 2.3 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำพาและการแผ่รังสี 1 สถานะสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ (Steady State and Unsteady State)

สถานะสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นในกรณีที่วัตถุได้รับการถ่ายเทความร้อน มาเป็นเวลานานพอสมควร จนอุณหภูมิในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าเราจะถ่ายเทความร้อนให้วัตถุไปอีกนานเท่าใด สถานะสม่ำเสมอ ซึ่งมีความหมายว่าอุณหภูมิที่จุดหนึ่งจุดใดในตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงกับเวลา เมื่อพิจารณาให้ดีจะเห็นว่า หากเกิดสภาวะสม่ำเสมอแล้วอัตราการเคลื่อนที่ ของ ความร้อนที่ จุดใดๆ ในทิศทางของการเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากัน แสดงว่า ถ้าความร้อนเคลื่อนที่ใน ทิศทางของ X อัตราการ เคลื่อนที่ของความร้อนจะไม่เปลี่ยนแปลงกับ X ปรากฏการณ์นี้สามารถ อธิบายได้โดยใช้ปริมาตรควบคุม (Control Volume ที่บางมากที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับพื้นที่หน้าตัด ที่ ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน สมมติว่าจุดที่พิจารณาอยู่ในปริมาตรควบคุมนี้ หาก จุด ๆ นั้นมีอุณหภูมิ คงที่ก็หมายความว่า ปริมาตร ควบคุมไม่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น แสดงว่า ความร้อนที่เคลื่อนที่เข้า ปริมาตรควบคุมจะเท่ากับความร้อนที่ออกจากปริมาตรควบคุม หากพิจารณาอย่างเดียวกัน นี้กับ ปริมาตรควบคุมอื่นที่วางเรียงต่อเนื่องกันในทิศทาง X แสดงว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนนี้ไม่ เปลี่ยนแปลงกับ X สภาวะไม่สม่ำเสมอ (Unsteady State หรือ Transient State) หมายความว่า อุณหภูมิที่จุด ๆ หนึ่ง ในวัตถุยังเปลี่ยนแปลงอยู่ เมื่อเวลาเปลี่ยนไป สภาวะไม่สม่ำเสมอเกิดเมื่อ เริ่ม ถ่ายเทความร้อนให้แก่วัตถุ อุณหภูมิของวัตถุยังไม่คงที่

2.2 การนำความร้อน

การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียวที่เกิดขึ้นใน วัตถุที่เป็น ตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความลาดชัน ของอุณหภูมิสามารถเกิดได้ทั้งในของแข็ง ของเหลว และแก๊ส แต่เนื่องจากมี การไหลหมุนเวียนเกิดขึ้น ในของเหลวและแก๊ส แต่สำหรับในของแข็งทึบ แสงจะไม่มี การเคลื่อนไหวภายในวัสดุจะมี แต่การ ถ่ายเทความร้อนด้วยการนำเพียงอย่างเดียว อัตรา การถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อนจะเป็น สัดส่วน กับค่าความลาดชันของอุณหภูมิ (Temperature gradient) คูณ กับพื้นที่ A ที่ความร้อนไหล ผ่าน ดัง สมการ

$$\text{Rate conduction} \propto \frac{(\text{area})(\text{Temperature Difference})}{\text{Thickness}} \quad (2.2)$$

$$q_{\text{Cond}} = A \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

เมื่อ q_{Cond} = อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (wall or J/s)

A = พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)

T = อุณหภูมิ (K)

X = ระยะการเคลื่อนที่ของความร้อน

ความสามารถในการนำความร้อนของสาร วัสดุด้วยปริมาณที่เรียกว่า ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) หรือใช้ตัวอักษรย่อว่า k มีหน่วยเป็น W/m K ซึ่งเป็นคุณสมบัติทาง

กายภาพ ของตัวกลางที่มีความ ร้อนเคลื่อนที่ผ่าน อัตราการถ่ายนำความร้อนจึงมีค่าเป็น $Q_{cond} = -kA \frac{dT}{dx}$ ค่าการนำความร้อน k เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุ การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานจาก อนุภาคที่มีพลังงานสูงไปยังอนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่า สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งใน ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส ค่าการนำความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ของแก๊ส ไม่สามารถหา ได้จากการ วิเคราะห์ ดังนั้นข้อมูลเกี่ยวกับการนำความร้อนส่วนใหญ่ของวัสดุจึงได้มาจากการวัดและการ ทดสอบ โดยทั่วไปแล้วค่าการนำความร้อนของวัสดุจะแปรตามอุณหภูมิ แต่การนำไปใช้งานในด้าน การปฏิบัติ นั้นส่วนใหญ่แล้วจะ ใช้ค่าการนำความร้อนคงที่ที่หาจากอุณหภูมิจำกัด สารที่มีความสามารถในการนำ ความร้อนสูง เช่น โลหะ จะมีค่า k สูง ส่วนสารที่มีความสามารถในการนำ ความร้อนต่ำ เช่น สาร อโลหะ ก็จะมีค่า k ต่ำ ค่า k จึงเป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารที่สำคัญมาก ในการศึกษาถึงการ เคลื่อนที่ของ ความร้อนในสารนั้น สามารถเปรียบเทียบความสามารถในการนำ ความร้อนของสารต่าง ๆ โดยการเปรียบเทียบ จากค่า k ของสารเหล่านั้น โดยสารที่มีค่า k สูง จะ เรียกว่า สารตัวนำ (Conductor) และสารที่มีค่า k ต่ำ จะ เรียกว่า ฉนวน (Insulator) ตัวอย่างค่า k ของ สารบางชนิด แสดงดังตารางที่ 1-1 สำหรับค่าการนำความร้อนของวัสดุและ ของแก๊สอื่น ๆ นั้น สามารถสืบค้นจาก หนังสือที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายโอนทั่วไป

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการนำความร้อนของสารบางชนิด

วัสดุ	ค่าการนำความร้อน ($W/k \cdot m^2$)
โลหะบริสุทธิ์	35-430
โลหะผสม	20-200
โลหะเหลว	9-90
ของแข็ง (อโลหะ)	0.2-2.0
ของเหลว (อโลหะ)	0.02-20
ฉนวน	0.02-0.40
ก๊าซ	0.002-0.2

การนำความร้อนในผนังราบ (Conduction in Plane Walls) จากสมการดุลพลังงานทั่ว ไป เขียนได้ ดังสมการ

$$q_{In} - q_{Out} + q_{gen} = \frac{dE_{wall}}{dt} \quad (2.4)$$

$$1) \text{ Steady-state } \frac{dE_{wall}}{dt} = 0$$

$$2) \text{ Transient no heat generation } = q_{gen}$$

$$3) \text{ Steady-state, no heat generation } q_{In} = q_{Out} - q_{Cond}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการนำความร้อนมิติเดียวที่สภาวะ Steady state จะใช้ Fourier's law ในการอธิบายดังสมการ

$$q_{\text{Cond, wall}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.5)$$

สมการการนำความร้อนผ่านผนังราบชั้นเดียวเมื่อคิดว่า k และ A เป็นค่าคงที่และมีเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) คือ $T = T_1$ ที่ $x = 0$ และ $T = T_2$ ที่ $x = L$ เป็นดังนี้

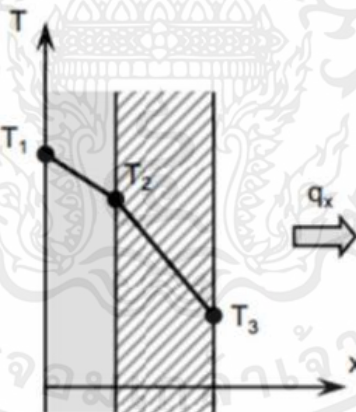
$$\int_{x=0}^L q_{\text{Cond, wall}} dx = - \int_{T_1}^{T_2} kA dt \quad (2.6)$$

อินทิเกรตสมการ ได้เป็น

$$q_{\text{Cond, wall}} = \frac{kA}{\Delta x} (T_1 - T_2) = \frac{\text{Driving force}}{\text{Resistance}(R)} \quad (2.7)$$

$$\text{เมื่อ } R = \frac{\Delta x}{kA} \text{ มีหน่วยเป็น K/W}$$

การนำความร้อนผ่านผนังราบที่ต่อแบบอนุกรม (Plane Walls in Series) ความร้อนไหลผ่านผนังที่ซ้อนกันหลายชั้นโดยการนำความร้อน เช่นผนังของอาคาร บ้านเรือน การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนก็จะยากยิ่งขึ้น ในกรณี ที่สภาวะต่าง ๆ คงที่ อัตราความร้อนที่ไหลผ่านแต่ละชั้น ของผนัง จะมีความเท่ากัน ทั้ง ๆ ที่ความลาดชันของอุณหภูมิในผนังแต่ละชั้นมีความแตกต่างกัน ในกรณีนั้นอัตราความร้อนที่ไหลผ่านผนังแต่ละชั้นเป็นดังสมการ



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการนำความร้อน

$$\begin{aligned} q_{\text{Cond, wal}} &= -k_A A \frac{(T_2 - T_1)}{\Delta x_A} \\ &= -k_B A \frac{(T_3 - T_2)}{\Delta x_B} \\ &= -k_C A \frac{(T_4 - T_3)}{\Delta x_C} \end{aligned} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบมิติเดียวผ่านผนังหลายชั้น ต่อแบบอนุกรมรวมสมการทั้งสามเข้าด้วยกัน และกำจัด T_2 และ T_3 ออกไป จะได้ตามสมการ

$$q_{Cond, wall} = \frac{T_1 - T_4}{\frac{\Delta x_A}{k_{AA}} + \frac{\Delta x_B}{k_{BA}} + \frac{\Delta x_C}{k_{CA}}} \quad (2.9)$$

$$= \frac{T_1 - T_4}{R_A + R_B + R_C}$$

เมื่อ

$$R_A = \frac{\Delta x_A}{k_{AA}}, R_B = \frac{\Delta x_B}{k_{BA}}, R_C = \frac{\Delta x_C}{k_{CA}}$$

2.3 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) คือการที่พลังงานถูกปล่อยออกมาจากวัตถุที่มีอุณหภูมิที่แน่นอน โดยวัตถุนั้นอาจเป็น ของแข็ง ของเหลว หรือ แก๊สก็ได้ พลังงานของสนามการแผ่รังสีมีการถ่ายเทโดยอาศัยคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าหรืออีกในหนึ่งเรียกว่า โฟตอน (Photons ในขณะที่การถ่ายเทพลังงานโดยการนำ หรือการพาความร้อนจะต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเท การถ่ายเทโดยการแผ่รังสีไม่ต้องอาศัย ตัวกลางใด ๆ และจะเกิดการถ่ายเทได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะที่เป็น สุญญากาศ

2.4 การพาความร้อน

การพาความร้อน (Convection) คือการถ่ายเทความร้อนโดยการพาประกอบด้วยกลไก 2 อย่าง คือ พลังงานเกิดการถ่ายเทอันมี ผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่หรือการแพร่แบบสุ่มของโมเลกุล และผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของ ของไหลการถ่ายเทลักษณะนี้เกิดขึ้นได้ เช่น ในระบบที่มีเกรเดียนท์อุณหภูมิจะมีการถ่ายเทความร้อนได้และเนื่องจากโมเลกุลในกลุ่มของไหลจะมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มอยู่ด้วย ดังนั้นการถ่ายเท ความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจึงเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบสุ่มของโมเลกุลและการเคลื่อนที่ ของของไหลส่วนใหญ่ การถ่ายเทความร้อนโดยการพา แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

2.4.1 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural or Free Convection) คือการเคลื่อนที่ของความร้อน ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลไม่ถูก ทำให้เคลื่อนไหวโดยกลไกภายนอก วัตถุซึ่งมีผิวเรียบอยู่ในของไหลซึ่งอยู่นิ่งถ้าอุณหภูมิของผิวสูงกว่าอุณหภูมิของของไหล ความร้อนจะเริ่มเคลื่อนที่มายังของไหลที่ชิดกับผนังทำให้ความหนาแน่น

ของของไหลที่อยู่ชิดผนังต่ำลงซึ่งทำให้เกิดแรงผลักดันให้ของไหลลอยตัวขึ้นของไหลที่อยู่ต่ำกว่าก็ จะเคลื่อนเข้ามาแทนที่และทำให้เกิดการหมุนเวียนของของไหล

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลบางชนิด

ประเภทการพาความร้อนและชนิดของการไหล	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย ($w/m^2 \cdot k$)
การพาความร้อนแบบอิสระ,อากาศ	5-25
การพาความร้อนแบบอิสระ,น้ำ	20-100
การพาความร้อนแบบบังคับ,อากาศ	10-200
การพาความร้อนแบบบังคับ,น้ำ	50-10,000
น้ำกำลังเดือด	3,000-100,000
ไอของน้ำที่กำลังอิ่มตัว	5,000-100,000

2.4.2 การพาโดยการบังคับ การพาโดยการบังคับ (Forced Convection) ซึ่งเกิดขึ้น เมื่อของไหลมีความเร็วอยู่แล้วด้วยกลไกภายนอก เช่น พัดลมหรือสูบน้ำเมื่อ ของเหลวมีความเร็ว เราจะต้องทราบกลไกในการเคลื่อนที่ของของไหลก่อน โดยปกติ เราจะแบ่ง การไหลของของไหลเป็นสองแบบ คือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) และการไหลแบบปั่นป่วน(Turbulent Flow) ในการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งของไหลไหลเป็นชั้นๆ หนาแน่นกับความร้อน จะถ่ายเทจากผิวของของแข็ง โดยการนำและถ่ายเทต่อๆ กันไปในของไหลโดยการนำผ่านชั้น ของ ของไหล ในกรณีของการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่ระเบียบ มีการเคลื่อน ที่ตั้ง ฉากกับทิศทางของการไหลด้วย การเคลื่อนที่ของความร้อนส่วนใหญ่ จะเกิดจากอนุภาคของ ของไหลที่ได้รับความร้อนมาแล้วเคลื่อนที่นำความร้อนไปยังที่อื่น

2.4.3 การพาความร้อนภายนอก การพาความร้อนภายนอก (External Convection Heat Transfer) การพาความร้อนภายนอกเกิดจากของไหลเป็นสารตัวกลาง โดยของไหลไม่ได้ถูกจำกัดให้ไหลในบริเวณที่กำหนด แต่เป็นการไหลผ่านผิวนอกของของแข็ง เช่นการไหลผ่านผนังราบ การ ไหลตั้งฉากกับวัตถุรูปทรงกระบอก การไหลของของไหลมากระทบกับของแข็งรูปร่างลักษณะ ต่างๆ ในทิศทางใดก็ได้

2.4.4 กฎของฟูเรียร์ จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการนำความร้อน คือ การที่ความร้อนถ่ายเทผ่านสสารโดยที่สสาร ไม่เกิดการเคลื่อนที่พาความร้อนนั้นไปแต่ความร้อนไหลผ่านสสารนั่นเอง โดยสมการแสดง พฤติกรรมการนำความร้อนนั้น ได้ถูกนำเสนอโดยฟูเรียร์และถูกรู้จักกันในนาม กฎข้อที่ 1 ของฟูเรียร์ สำหรับการนำความร้อน โดยกฎของฟูเรียร์ สามารถอธิบายได้ดังนี้ พลักซ์ของความร้อนที่การถ่ายเท ณ ตำแหน่งหนึ่งๆ จะเป็นปฏิภาคตรงกับค่าลบของ เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่เกิดการถ่ายเทความร้อนนั้น และสามารถเขียนเป็นสมการการนำความร้อนในแนวแกนเดียวได้ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.10)$$

เมื่อ

q = ความร้อนที่เกิดการถ่ายเท ปกติมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร

k = ค่าการนำความร้อน (Conductivity) ปกติมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตรต่อเคลวิน

$\frac{\partial T}{\partial x}$ = เกรเดียนต์ของอุณหภูมิในแนวแกน x มีหน่วยเป็น เคลวินต่อเมตร

นอกจากนี้ในกรณีที่ความร้อนมีการถ่ายเทในสามแนวแกนพร้อมกันเราจะเขียนสมการ กฎ ข้อที่ 1 ของฟูเรียร์สำหรับการนำ ความร้อนได้ดังนี้

$$q = -k \left(\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -k \Delta T \quad (2.11)$$

และเมื่อทำประยุกต์รวมกฎข้อที่ 1 ของฟูเรียร์สำหรับการนำความร้อน เข้ากับกฎข้อที่ 1 ของทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งกล่าวว่าพลังงานในจักรวาลนี้เป็นปริมาณคงที่ และสมมติให้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในระบบที่การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นโดยการนำความร้อนเท่านั้น เราจะได้สมการดังสมการข้างล่างสำหรับกรณี การนำความร้อนแกนเดียว ซึ่งเราเรียกสมการดังกล่าวว่า กฎข้อที่ 2 ของฟูเรียร์สำหรับการนำความร้อน

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \partial \left(\alpha \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (2.12)$$

$\frac{\partial T}{\partial x}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

α = ค่าความสามารถในการแพร่ความร้อน (Thermal Diffusivity) = $\frac{k}{PC_p}$

และสำหรับการถ่ายเทความร้อนภายในระบบที่มีการนำความร้อนอย่างเดียวนั้น กฎข้อที่ 2 ของฟูเรียร์สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \Delta(\alpha \Delta T) \quad (2.12)$$

ทางกลุ่มได้ใช้การทดสอบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการเดือด (Pool Boiling Heat Transfer Laboratory) ที่มีระบบที่เฉพาะทางมีชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่สำคัญในการทำการค้นคว้าและทำงานวิจัยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการเดือด และมีส่วนประกอบและระบบ Pool Boiling ประกอบด้วย ถังความดัน, boiling test section และคอยล์เย็น ซึ่ง ถังความดันทำมาจาก หลอดแก้วทนแรงดันมี ภายในบรรจุสารทำงานที่ใช้ในการทดสอบ ลักษณะ ของ boiling test section ซึ่งประกอบไปด้วยฮีตเตอร์ ที่ถูกฝังอยู่ในแท่งทองแดง เพื่อที่จะส่งความร้อนจากฮีตเตอร์ไปยัง test section ที่ติดตั้งอยู่ที่ปลายด้านบนของแท่งทองแดง test section ถูกหุ้มด้วยฉนวน calcium silicate เพื่อ ต้องการให้ความร้อนจากฮีตเตอร์ส่งไปยัง test section ที่อยู่ด้านบนเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

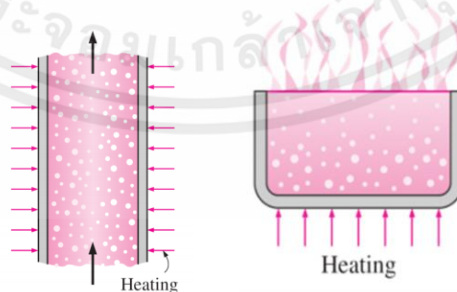
บริเวณของ test section จะมีช่องสำหรับติดตั้ง T-type sheath thermocouple แต่ละตำแหน่งก็เพื่อนำค่ามาคำนวณหาอุณหภูมิของวิจัยโดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดของการถ่ายเทความร้อน แบบการเดือดขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัสดุที่ใช้ในกาถ่ายเทความร้อน ขนาดและชนิดของสารละลายปริมาตรของสารละลาย ชนิดและขนาดของวัสดุที่ใช้ของไบหมุนเหนือพื้นผิวการถ่ายเทความร้อน และแรงดันไฟฟ้ารวมทั้งเวลาในการทดลอง ซึ่งต้องทำการคำนวณและออกแบบตามหลักทฤษฎีต่อไป

การเดือดถ้าแบ่งตามลักษณะของการเคลื่อนที่ของสารทำงาน (working fluid) สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ Flow boiling และ Pool boiling

2.5 Flow boiling

Flow boiling คือ การเดือดในลักษณะที่มีการเคลื่อนที่ของ สารทำงานไปตามช่องทางการไหล โดยที่ผนังของช่องทางการไหลทำหน้าที่เป็นพื้นผิวให้ความร้อนด้วย Flow Boiling - โหมดการเดือดในการเดือดแบบไหล (หรือการเดือดแบบบังคับการพาความร้อน) การไหลของของไหลจะถูกบังคับเหนือพื้นผิวด้วยวิธีการภายนอก เช่น ปั๊ม เช่นเดียวกับผลกระทบจากการลอยตัว ดังนั้นการไหลเดือดจึงมาพร้อมกับเอฟเฟกการพาความร้อนอื่นๆ เสมอ เงื่อนไขขึ้นอยู่กับรูปร่างอย่างมาก ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการไหลภายนอกเหนือแผ่นความร้อนและกระบอกสูบหรือการไหลภายใน (ท่อ) ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ระบบการต้มส่วนใหญ่เป็นเพียงการเดือดด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ การเดือดของการไหลยังถูกจัดประเภทเป็นการเดือดของการไหลภายนอกและภายใน ขึ้นอยู่กับว่าของไหลถูกบังคับให้ไหลผ่านพื้นผิวที่ร้อนหรือภายในช่องทางที่ให้ความร้อน

2.6 Pool boiling



รูปที่ 2.5 แสดงการเดือดตามลักษณะการเคลื่อนที่ของสารทำงานคือ Pool Boiling และ Flow Boiling

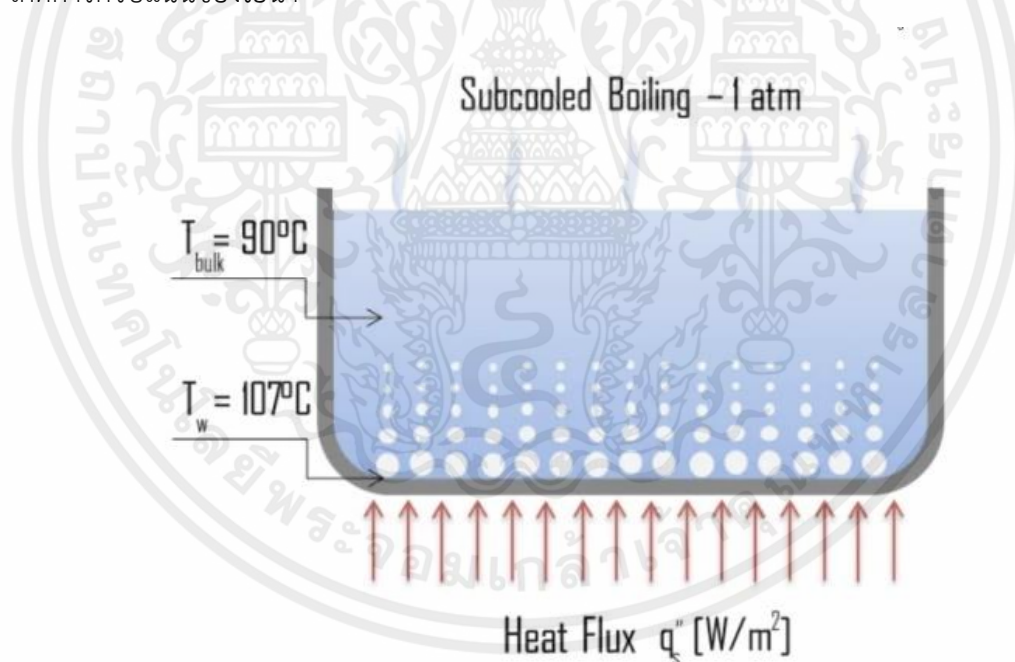
Pool boiling คือ การเดือดของสารทำงานในภาชนะที่เป็นพื้นผิวให้ความร้อนเป็นผลให้สารทำงานเกิดการเคลื่อนที่แบบหมุนวนภายใน ภาชนะเนื่องจากแรงลอยตัวของสารทำงาน โดยไม่มีพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายนอกมากระทำ Pool boiling และ Flow boiling สามารถแบ่งตามอุณหภูมิของสารทำงานได้ 2 ลักษณะ คือ subcooled boiling และ saturated boiling

2.7 Subcooled boiling

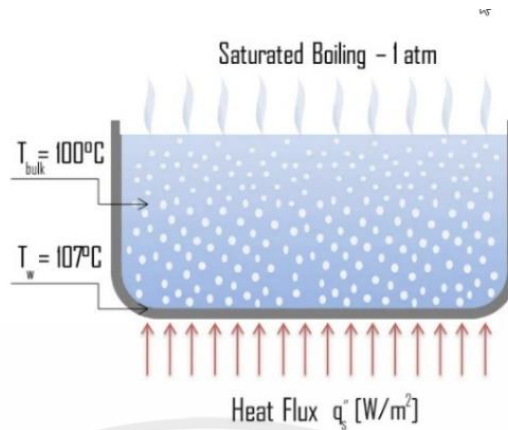
Subcooled boiling คือการเดือดของสารทำงานที่มีอุณหภูมิ ต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำงาน Saturated boiling เป็นการเดือดของสารทำงานที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิ อิ่มตัวของสารทำงาน กล่าวคือ ฟอง (Bubble) เกิดจากโพรงเล็กๆ บนพื้นผิวให้ความร้อน ความร้อนภายในโพรงจะมากกว่านอกโพรง เมื่ออุณหภูมิภายในโพรงสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำงานเป็นผลทำให้สารทำงานเกิดการเปลี่ยนสถานะที่ภายในโพรงเกิดเป็นลักษณะของฟองไอน้ำที่โพรงขยายตัวขึ้นเรื่อยๆ แล้วพัฒนาเป็นฟองหลุดลอยออกจากพื้นผิวให้ความร้อน เมื่อการเดือดอยู่ในสภาวะ subcooled boiling ฟองที่หลุดลอยออกจากพื้นผิวให้ความร้อนจะยุบตัวลงแล้ว สลายตัวไปก่อนที่จะถึงผิวด้านบนของของเหลวสาเหตุเนื่องมาจากอุณหภูมิของสารทำงานรอบฟองต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว สารทำงานทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำ



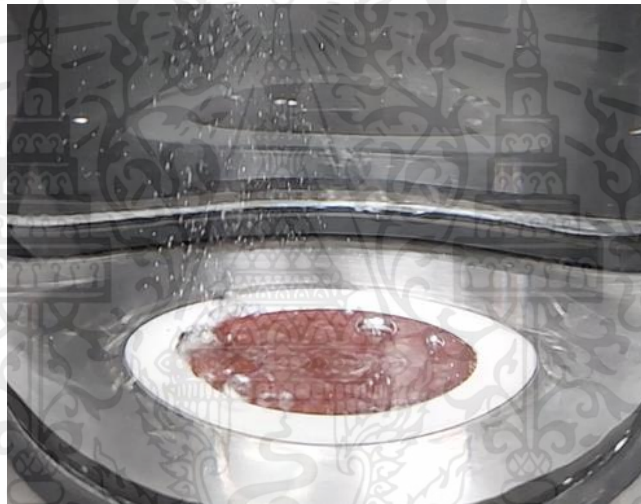
รูปที่ 2.6 แสดงการเดือดแบบ Subcooled boiling

2.8 saturated boiling

saturated boiling คือฟองที่หลุดลอย ออกจากพื้นผิวให้ความร้อนจะมีขนาดโตขึ้นเรื่อยๆ จนกว่าจะลอยสู่ผิวด้านบนของสารทำงานแล้วแตกสลายไปเมื่อสัมผัส กับอากาศ



รูปที่ 2.7 แสดงการเดือดแบบ saturated boiling



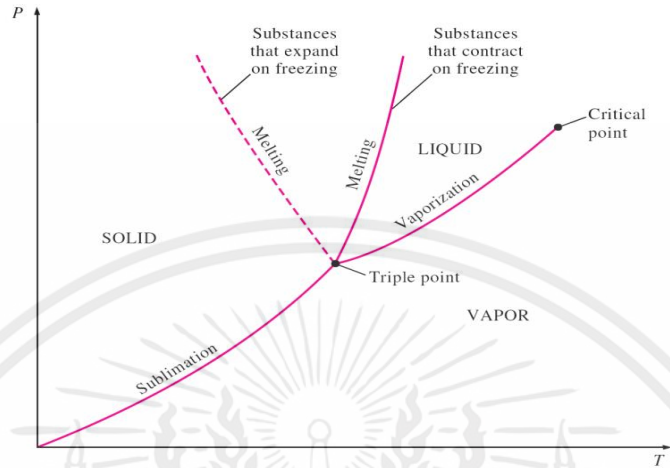
รูปที่ 2.8 แสดงการเดือดลักษณะอุณหภูมิต่ำของสารทำงานคือ Subcooled boiling



รูปที่ 2.9 แสดงการเดือดลักษณะอุณหภูมิต่ำของสารทำงานคือ saturated boiling

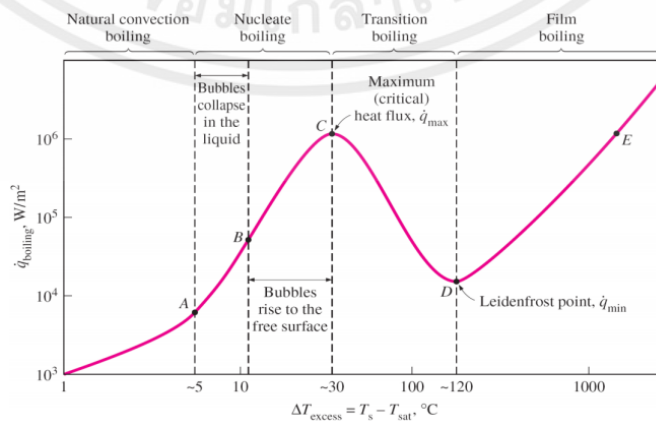
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการเดือดแสดงแผนภาพความดันกับอุณหภูมิที่แสดงกระบวนการเปลี่ยนสถานะของสารบริสุทธิ์ กระบวนการของการเดือดจะเกิดบนเส้นของการกลายเป็นไอ (Vaporization) เป็นเส้นแบ่ง ระหว่างสถานะของเหลว (Liquid phase) กับสถานะไอ



รูปที่ 2.10 แสดงในแผนภาพความดันกับอุณหภูมิที่แสดงกระบวนการเปลี่ยนสถานะของ (Vapor phase) กระบวนการเกิดการเดือดจะเริ่มจากจุด Triple point ไปจนถึงจุด Critical point

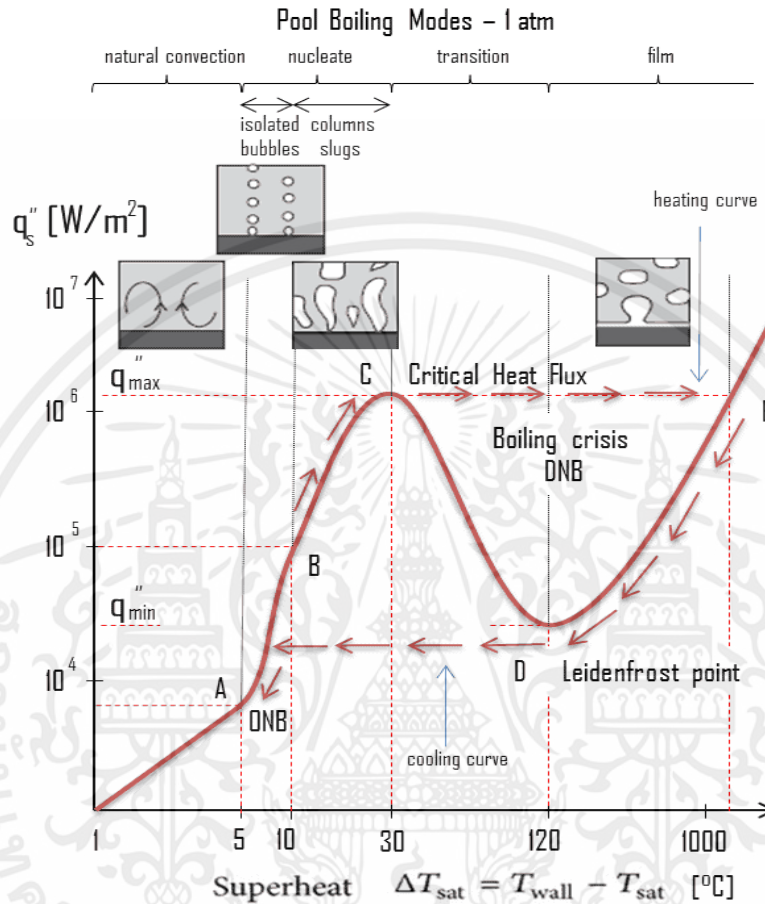
ในช่วงเวลาที่ผ่านมา มีนักวิจัยจำนวนมากได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ pool boiling Nukiyama ในปี ค.ศ.1934 เป็นนักวิจัยในยุคแรกที่ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนแบบ pool boiling อุปกรณ์การทดสอบเป็นการควบคุม heat flux ผลการทดลองพบว่า pool boiling curve ที่ได้มีลักษณะดังแสดงใน รูปที่ 2.11(a) ส่วนใน รูปที่ 2.11(b) แสดงลักษณะ pool boiling curve จากการศึกษาของ Bennett [3] ในปี ค.ศ.1967 ทำการทดลองโดยอุปกรณ์การทดสอบเป็นการควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวให้ ความร้อนซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับอัตราการไหลของไหลร้อนภายในท่อที่เชื่อมต่อในสารทำงาน การทดสอบแบบ ควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวให้ความร้อนจะสามารถหา pool boiling curve ในช่วง Transition boiling ได้



รูปที่ 2.11 ลักษณะของ Pool boiling curve ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาเชิงทดลองของการถ่ายเทความร้อนแบบ pool boiling สามารถแบ่งตามปรากฏการณ์ของการเดือดได้ 4 ลักษณะ คือ natural convective boiling, nucleate boiling, transition boiling และ film boiling



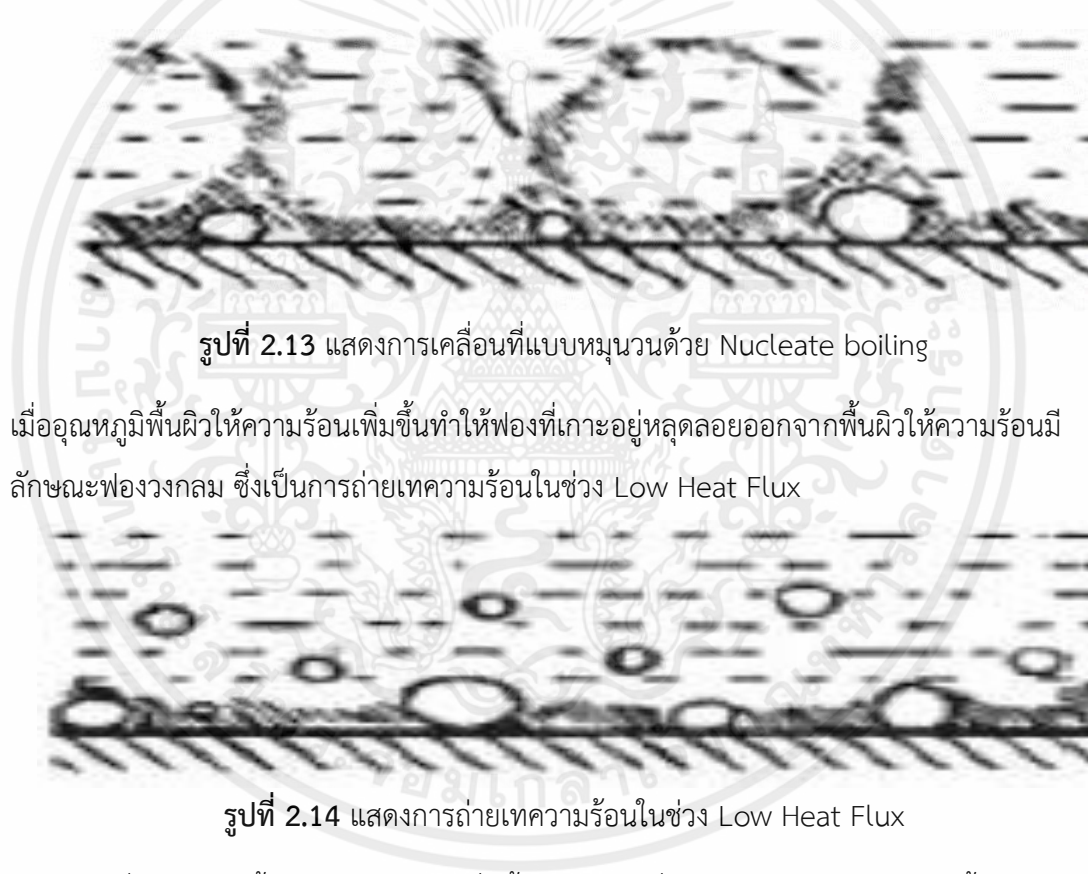
รูปที่ 2.12 แสดง pool boiling curve ของน้ำที่ความดันบรรยากาศ

pool boiling curve ของน้ำที่ความดันบรรยากาศ pool boiling curve เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_s - T_{sat}$ กับ Heat flux จากกราฟแสดงให้เห็นว่า - จากจุดเริ่มต้นจนถึงจุด A เป็นช่วง Natural convective boiling - จุด A ถึง C คือ ช่วง Nucleate boiling โดยที่จุด A ถึง B เป็นการเดือดในช่วงของ ฟลักซ์ความร้อนต่ำ และจุด B ถึง C เป็นการเดือดในช่วงของฟลักซ์ความร้อนสูง รูปที่ 2.12 จุด C คือ จุดฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ - จุด C ถึง D คือ ช่วง Transition boiling - จุด D เป็นต้นไป คือ ช่วงของ Film boiling การถ่ายเทความร้อนแบบ Nucleate boiling ซึ่งเป็นช่วงที่มีการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง Nucleate boiling สามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงฟลักซ์ความร้อนต่ำ (low heat flux) และช่วงฟลักซ์ความร้อน (high heat flux) Nucleate boiling จะเริ่มจากการเกิดฟองขึ้นบนพื้นผิวให้ความร้อนหรือเรียกอีกอย่างว่า “Onset of nucleate boiling”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีลักษณะเป็นฟองทรงกลมเกาะที่บริเวณพื้นผิวให้ความร้อนและในขณะเดียวกันสารทำงานก็มีการเคลื่อนที่แบบหมุนวนด้วยดังแสดงใน รูปที่ 2.12 (a) เมื่ออุณหภูมิพื้นผิวให้ความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้ฟองที่เกาะอยู่หลุดลอย ออกจากพื้นผิวให้ความร้อนมีลักษณะเป็นฟองทรงกลมดังแสดงใน รูปที่ 2.12(b) ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนในช่วง low heat flux การถ่ายเทความร้อนในช่วง high heat flux จะมีลักษณะฟองเป็นแบบสลักซึ่งเป็นการเดือดที่รุนแรงกว่า ในช่วง low heat flux ดังแสดงใน รูปที่ 2.12(c)

การเคลื่อนที่แบบหมุนวนด้วย Nucleate boiling จะเริ่มจากการเกิดฟองขึ้นบนผิวให้ความร้อนหรือเรียกอีกอย่างว่า “Onset of nucleate boiling “ มีลักษณะเป็นฟองทรงกลมเกาะที่บริเวณผิวให้ความร้อนและในขณะเดียวกันสาร

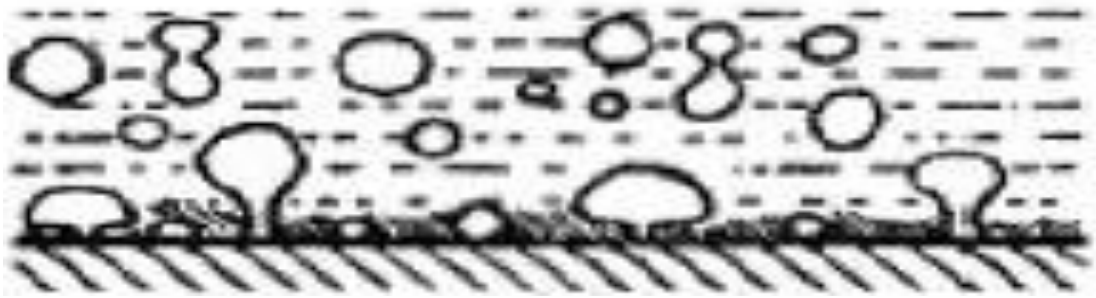


รูปที่ 2.13 แสดงการเคลื่อนที่แบบหมุนวนด้วย Nucleate boiling

เมื่ออุณหภูมิพื้นผิวให้ความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้ฟองที่เกาะอยู่หลุดลอยออกจากพื้นผิวให้ความร้อนมีลักษณะฟองวงกลม ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนในช่วง Low Heat Flux

รูปที่ 2.14 แสดงการถ่ายเทความร้อนในช่วง Low Heat Flux

เมื่ออุณหภูมิพื้นผิวให้ความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้ฟองที่เกาะอยู่หลุดลอยออกจากพื้นผิวให้ความร้อนมีลักษณะฟองวงกลม ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนในช่วง Low Heat Flux

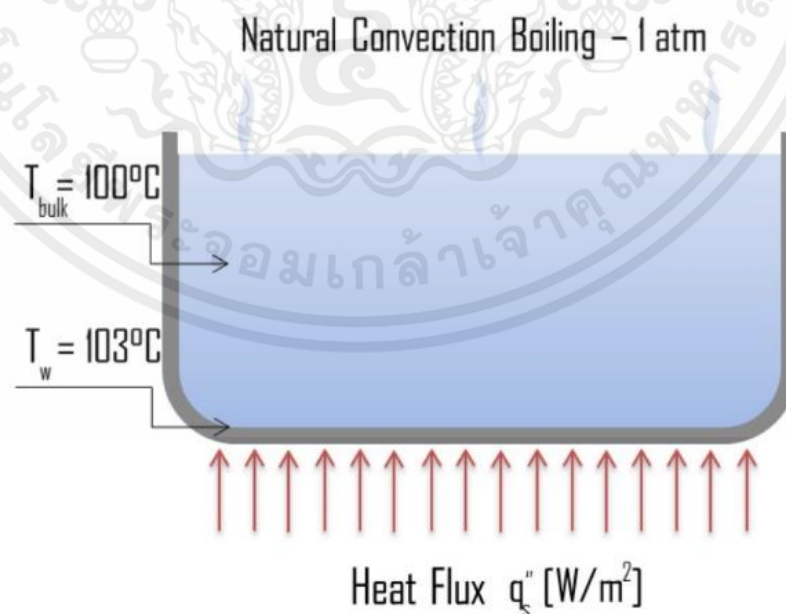


รูปที่ 2.15 แสดงการถ่ายเทในช่อง high heat flux

การถ่ายเทในช่อง high heat flux จะมีลักษณะฟองเป็นแบบสลักซึ่งเป็นการเดือดที่รุนแรงกว่าในช่วง low heat flux

2.9 Natural Convection Boiling

Natural Convection Boiling คือ ข้อกำหนดสำหรับการต้มสารบริสุทธิ์ที่จะเกิดขึ้นคือ $T_{wall} = T_{sat}$ แต่ในการทดลองจริง การเดือดจะไม่เกิดขึ้นจนกว่าของเหลวจะได้รับความร้อนสูงกว่า อุณหภูมิอิ่มตัวสองสามองศา อุณหภูมิพื้นผิวต้องสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวเล็กน้อยเพื่อรักษาไอ ในโหมดเดือดนี้ จะสังเกตเห็นไอระเหยเหนือผิวน้ำ แต่โดยปกติแล้วจะไม่พบฟองอากาศ เมื่ออุณหภูมิความร้อนยิ่งยวดเพิ่มขึ้น การเกิดฟองสบู่จะเกิดขึ้นในที่สุด แต่ต่ำกว่าจุด A การเคลื่อนที่ของของไหลถูกกำหนดโดยกระแสพาความร้อนตามธรรมชาติเป็นหลัก จุด A มักจะถูกอ้างถึง

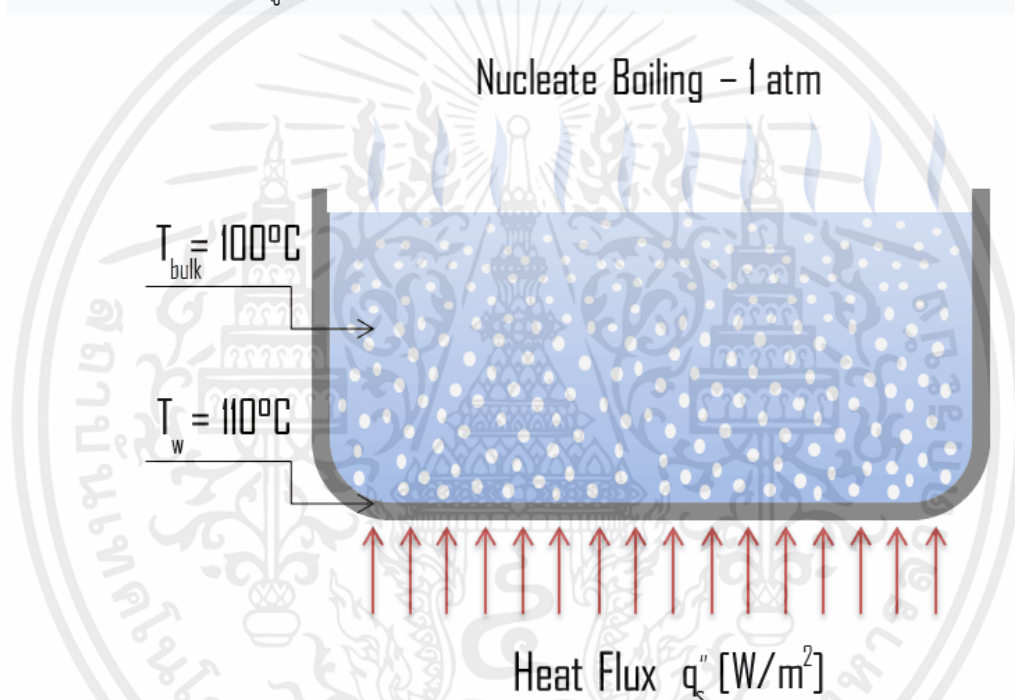


รูปที่ 2.16 แสดงการพาความร้อนตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 Nucleate Boiling

Nucleate Boiling คือการเดือดที่พบได้บ่อยที่สุดในโรงงานนิวเคลียร์คือการเดือดของนิวเคลียส ในการต้มนิวเคลียสเอต ฟองไอน้ำก่อตัวขึ้นที่พื้นผิวการถ่ายเทความร้อนแล้วแตกออกและถูกส่งไปยังกระแสหลักของของไหล การเคลื่อนไหวดังกล่าวช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวถูกนำเข้าสู่กระแสของเหลวโดยตรง เมื่ออยู่ในกระแสของเหลวหลัก ฟองอากาศจะยุบตัวลงเนื่องจากอุณหภูมิโดยรวมของของเหลวไม่สูงเท่ากับอุณหภูมิพื้นผิวการถ่ายเทความร้อนที่เกิดฟอง กระบวนการถ่ายเทความร้อนนี้เป็นที่ต้องการในบางครั้ง เนื่องจากพลังงานที่สร้างขึ้นที่พื้นผิวการถ่ายเทความร้อนจะถูก ถ่ายเทออกไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

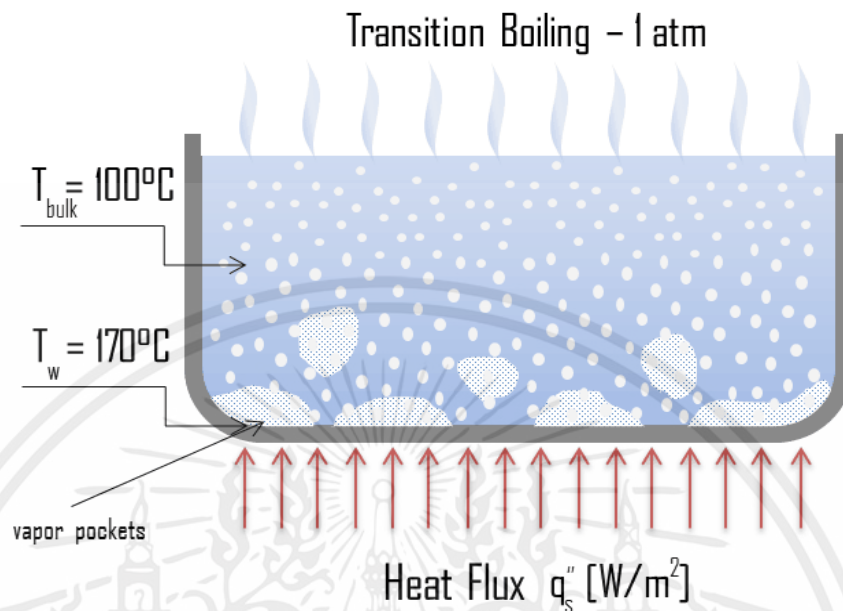


รูปที่ 2.17 แสดงพลังงานที่สร้างขึ้นที่พื้นผิว การถ่ายเทความร้อนถูกถ่ายเทออกอย่างรวดเร็ว

2.11 Transition Boiling

Transition Boiling คือ ฟลักซ์ความร้อนที่เดือดเป็นนิวเคลียสไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้อย่างไม่มีกำหนด ในบางค่า เราเรียกว่า "ฟลักซ์ความร้อนวิกฤต" (CHF) ไอน้ำที่ผลิตได้สามารถสร้างขึ้นจนวนเหนือพื้นผิว ซึ่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง เนื่องจากส่วนใหญ่ของพื้นผิวถูกปกคลุมด้วยฟิล์มไอซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนเนื่องจากการนำความร้อนต่ำของไอที่สัมผัสกับของเหลว ทันทีหลังจากถึงฟลักซ์ความร้อนวิกฤต การเดือดจะไม่เสถียรและเกิดการเดือดแบบทรานสิชัน การเปลี่ยนจากการเดือดนิวเคลียสเป็นการเดือดฟิล์มเรียกว่า "วิกฤตการเดือด" เนื่องจากเกินจุด

CHF ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะลดลง การเปลี่ยนแปลงไปสู่การเดือดของฟิล์มจึงมักจะหลีกเลี่ยงไม่ได้



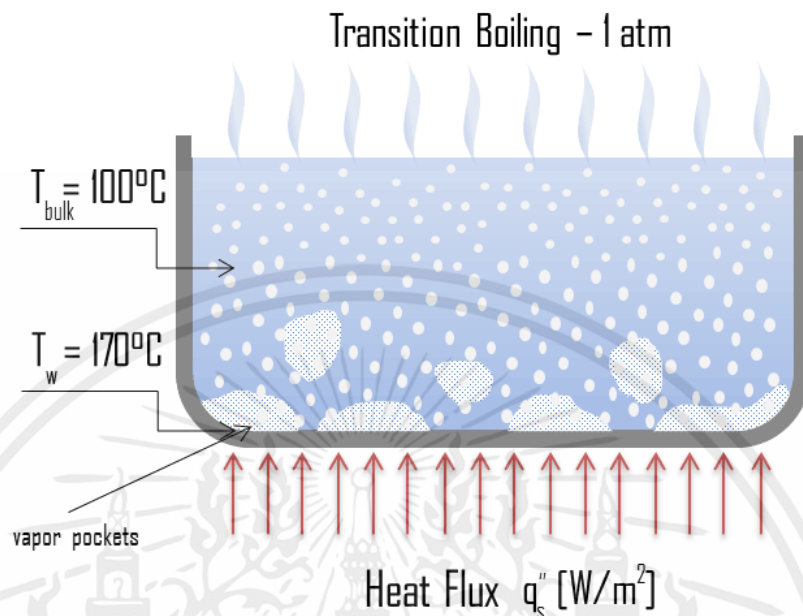
รูปที่ 2.18 การถ่ายเทความร้อนจะลดลง การเปลี่ยนแปลงไปสู่การเดือดของฟิล์ม

2.12 film boiling

film boiling คือ ฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้นอีกทำให้ฟิล์มไอระเหยปกคลุมพื้นผิว ซึ่งลดค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนลงอย่างมาก เนื่องจากชั้นไอนี้มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด ส่งผลให้อุณหภูมิส่วนเกินพุ่งขึ้นสู่ค่าที่สูงมาก นอกเหนือจากจุดไครติคโปรสตร์ฟิล์มไอนี้จะปกคลุมพื้นผิวและไม่มีการสัมผัสระหว่างเฟสของเหลวกับพื้นผิว ในสถานการณ์เช่นนี้ การถ่ายเทความร้อนมีทั้งโดยการแผ่รังสีและโดยการพาไปยังไอ หากวัสดุไม่แข็งแรงพอที่จะทนต่ออุณหภูมินี้ อุปกรณ์จะล้มเหลวจากความเสียหายต่อวัสดุ ปรากฏการณ์นี้เรียกอีกอย่างว่าความเหนียวหนาย ในเครื่องปฏิกรณ์แบบใช้แรงดันน้ำ หนึ่งในข้อกำหนดด้านความปลอดภัยที่สำคัญ (อาจสำคัญที่สุด) ก็คือการออกจากการเดือดของนิวคลีเอต (DNB) จะไม่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานในสภาวะคงตัว สภาวะการทำงานชั่วคราวตามปกติ และเหตุการณ์การปฏิบัติงานที่คาดการณ์ไว้ (AOO) ความสมบูรณ์ของการหุ้มเชื้อเพลิงจะยังคงอยู่หาก DNBR ต่ำสุดยังคงสูงกว่าขีดจำกัด 95/95 DNBR สำหรับ PWR (ความน่าจะเป็น 95% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) เนื่องจากปรากฏการณ์นี้ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเสื่อมลงและฟลักซ์ความร้อนยังคงอยู่ ความร้อนจึงสะสมในแท่งเชื้อเพลิงทำให้เกิดการหุ้มฉนวนและอุณหภูมิเชื้อเพลิงสูงขึ้นอย่างมาก พุดง่าย ๆ ก็คือ ต้องมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างของอุณหภูมิที่สูงมากในการถ่ายโอนฟลักซ์ความร้อนที่สำคัญซึ่งผลิตจากพื้นผิวของแท่ง เชื้อเพลิงไปยังสารหล่อเย็นของเครื่องปฏิกรณ์ (ผ่านชั้นไอ)



รูปที่ 2.19 แสดงฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้นอีกทำให้ฟิล์มไอระเหยปกคลุมพื้นผิว

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shoukat Alim Khan [1] วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือการสำรวจความสามารถในการจัดการความร้อนที่ยอดเยี่ยมของ Grapheneออกไซด์ (GO) นาโนฟลูอิดและพื้นผิวที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (M) สำหรับความร้อนจากปฏิกิริยาเคมีระบบการจัดการประสิทธิภาพของระบบที่ออกแบบได้รับการวิเคราะห์สำหรับความร้อนการจัดการระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์เข้มข้น (CPV) ได้ดำเนินการวิเคราะห์อย่างละเอียดแล้วสำหรับ GO nanofluid ที่มีความเข้มข้น 0.0001%, 0.001% และ 0.01% และของไหลทำงานที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักปราศจากไอออน (DI) เหนือพื้นผิวที่ไม่ผ่านการดัดแปลง (P) และพื้นผิวพรุน (M) ของระนาบ ไปnanofluid เพิ่มฟลักซ์ความร้อนวิกฤต (CHF) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (HTC) เหนือระนาบ พื้นผิว. อย่างไรก็ตาม บนพื้นผิว M นาโนฟลูอิด GO ส่งผลให้เกิดชั้นหนาและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของ NBHT อย่างมีนัยสำคัญ CHF สูงสุด 1850 kW/m² ได้รับการสังเกตสำหรับGO เหนือผิวเครื่องปั้น เพิ่มขึ้น 2.31 เท่า พื้นผิว M ด้วยน้ำปราศจากไอออน ส่งผลให้ HTC เฉลี่ยสูงสุด 64.36 kW/m².K เพิ่มขึ้น 3.47 เท่า ไปเหนือพื้นผิวระนาบ (Np) ตามระบบการจัดการความร้อน NBHT ส่งผลให้อัตราส่วนความเข้มข้นสูงสุดที่ 3102 และใช้ได้กับระบบ CPV ในการเปรียบเทียบ M ระบบการจัดการความร้อนบนพื้นผิวส่งผลให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

Matev Zupan [2] ของเหลวที่รีเวทได้เองมักใช้ในท่อความร้อน แต่ประสิทธิภาพของของไหล

นั้นยังไม่ดีพอในการต้มในสระ ที่นี้ เราทำการต้มส่วนผสมของเอ็น-บิวทานอล-น้ำบนไททานเนียมแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางพอยต์และใช้กล้อง IR และวิดีโอความเร็วสูงซึ่งโครนัสเพื่อจับภาพอุณหภูมิชั่วคราวฟิลด์และพลวัตของฟองสบู่ เมื่อเกิดการเดือดของนิวเคลียส ของเหลวที่รีเวทตัวเองจะมีค่าสูงกว่าความหนาแน่นของไฮโดรเจนและเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศที่เล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ อย่างไรก็ตามด้วยความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการพองของ n-butanol อย่างมีนัยสำคัญในบริเวณใกล้เคียงกับนิวเคลียสไฮโดรเจนซึ่งทำให้เกิดความผันผวนชั่วคราวเป็นระยะในอุณหภูมินิวเคลียสและพลังงานการระเหยของฟองอากาศ อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยและเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศสำหรับการรีเวทตัวเองของเหลวยังเกินค่าของน้ำบริสุทธิ์อีกด้วย นี่แสดงให้เห็นว่าผลกระทบของ Marangoni ไม่สามารถเอาชนะการแพร่กระจายมวลของส่วนประกอบที่มีความผันผวนมากกว่าไปยังตำแหน่งนิวเคลียสในการเดือดในสระได้บนเครื่องทำความร้อนแนวนอนแบน จากการสังเกตของเรา การใช้ของไหลรีเวทตัวเองจะไม่เพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับน้ำบริสุทธิ์ซึ่งเรียกอีกอย่างว่าสารผสมทั่วไปที่มีแรงดึงผิวที่ขึ้นกับอุณหภูมิติดลบ การทดลองของเราเสนอขั้นตอนสู่ความเข้าใจที่ดีขึ้นของการเดือดของนิวเคลียสของสารผสมที่ซับซ้อนและความเป็นไปได้สำหรับการประเมินทางอ้อมของการแปรผันของความเข้มข้นตามวิดีโอความเร็วสูงแบบซิงโครนัสและIRถ่ายภาพความร้อน

Erivelto dos Santos Filho [3] วิจารณ์การของกระบวนการปรับแต่ง/ผลิตพื้นผิวได้อำนวยความสะดวกให้ความก้าวหน้าในการวิจัยการเดือดในสระน้ำด้วยพื้นผิวที่สามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (HTC) และฟลักซ์ความร้อนวิกฤต (CHF) ผ่านพื้นผิวที่ให้ความร้อนขนาดไมโคร/นาโนกระบวนการไฮบริดซึ่งเชื่อมโยงการกำจัดหรือการเพิ่มวัสดุสำหรับการก่อตัวของโครงสร้างจุลภาคตามด้วยการเพิ่มวัสดุสำหรับการสร้างโครงสร้างนาโนรวมประโยชน์ที่ได้รับด้วยเทคนิคการเพิ่มความเข้มข้นที่แตกต่างกันในการค้นหาประสิทธิภาพที่เหนือกว่าในการถ่ายเทความร้อนเดือด ประสิทธิภาพทางความร้อนของการเดือดของสระน้ำบนพื้นผิวด้วยส่วนผสมของศึกษาไมโครพินและพื้นผิวที่มีโครงสร้างนาโนผ่านการสะสมของอนุภาคนาโนโดยใช้ HFE-7100 ที่สภาวะอิ่มตัว พื้นผิวไมโครเท็กซ์เจอร์ถูกสร้างนาโนโครงสร้างโดยการต้มอลูมิเนียม นาโนฟลูอิดที่มี 0.0007 โดยปริมาตร% โดยใช้ฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่ 500 kW/m² การทดลองการทดสอบการเดือดบนพื้นผิวแบบลำดับขั้นบ่งชี้ถึงการเพิ่มประสิทธิภาพที่สำคัญใน HTC (มากถึง 65%เมื่อเทียบกับพื้นผิวไมโครเท็กซ์เจอร์) เนื่องจากความหนาแน่นของตำแหน่งนิวเคลียสและไอระเหยที่ขึ้นไดนามิกของฟองส ฟลักซ์ความร้อนสูงสุดสอดคล้องกับความร้อนสูงสุดในการทดลองค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอน การสะสมของอนุภาคนาโนบนพื้นผิวไมโครเท็กซ์เจอร์ช่วยเพิ่มของเหลวความสามารถในการดูดซับ ปรับปรุงการรีเวทของพื้นผิว และชะลอการเกิดแบบแห้ง

Matic Moze [4] ในการศึกษาที่ รูปแบบพื้นผิวที่ดีที่สุดของบริเวณที่มีการเปียกน้ำต่ำและสูงสำหรับการเดือดที่เพิ่มขึ้นตรวจสอบการถ่ายเทความร้อนโดยใช้พื้นผิวอะลูมิเนียม superbiphilic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างถูกประดิษฐ์ขึ้นโดยการรวมกันการสะสมไอเคมีของโซเลนที่มีฟลูออไรด์เพื่อทำให้เป็นเลเซอร์ที่ไม่ชอบน้ำและนาโนวินาทีพื้นผิวเพื่อแสดงพื้นที่ที่เลือก superhydrophilic รูปแบบตาข่ายสามเหลี่ยมของจุดวงแหวนรอบวงรี superhydrophobic ใช้กับจุดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.25 มม. ถึง 1.0 มม. และค่าพิทช์ 0.5–2.5 มม. ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในสระน้ำเดือดของพื้นผิว superbiphilic ประเมินโดยใช้น้ำอิมิตัวที่ความดันโมสเฟียร์ คอนทราสต์ในการเปียกที่แข็งแกร่งนั้นมีความสำคัญในการรับรองว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงของพื้นผิวที่มีลวดลายเปียก ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุดทำได้โดยใช้จุดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มม. ที่มีระยะห่างเฉพาะจุด 1 มม. และเศษส่วนของพื้นที่ superhydrophobic ที่สอดคล้องกันประมาณ 23%. ค่าพิทช์ที่เหมาะสมที่สุดจะให้นิวเคลียสเอชันที่อาจใช้งานได้มีความหนาแน่นสูงแต่ยังคงอนุญาตให้มีการพัฒนาของชั้นขอบเขตความร้อนจึงไม่ยับยั้งการเปิดใช้งานของสถานที่ใกล้เคียง ขนาดของจุดที่ไม่ชอบน้ำ (ซูเปอร์) ดูเหมือนจะไม่มีอิทธิพลสำคัญต่อประสิทธิภาพการเดือดเมื่อใช้ระยะพิทช์จุดที่เหมาะสมที่สุดพื้นผิว

Superbiphilic [5] ที่พัฒนาแล้วช่วยเพิ่ม CHF และให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างมากโดยเฉพาะที่ฟลักซ์ความร้อนปานกลางและสูงทำให้เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานที่มีความร้อนสูง Carlos Amaris เทคโนโลยีการดูดซับกลายเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับการทำความเย็นหรือให้ความร้อนเมื่อขับเคลื่อนด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์พลังงาน ความร้อนตกค้างจากกระบวนการต่างๆ หรือพลังงานความร้อนใต้พิภพ การพัฒนาเทคโนโลยีนี้เพิ่มเติมสามารถช่วยให้ครอบคลุมความต้องการการระบายความร้อนหรือความร้อนในปัจจุบัน และมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมมากกว่าระบบทำความเย็นแบบอัดทางกลและปั๊มความร้อน นอกจากนี้ ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นของพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มเข้ามาในประเด็นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นเหตุผลที่จะก้าวไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงานที่ยั่งยืน ตัวดูดซับเป็นองค์ประกอบหลักของความร้อนดูดซับเทคโนโลยีปั๊ม การศึกษาในวรรณคดีเปิดเกี่ยวกับตัวดูดซับแสดงความก้าวหน้าในแนวทางการออกแบบใหม่เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและมวลด้วยของเหลวทำงานต่างๆ ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการทบทวนนี้คือเพื่อระบุ สรุปรูป และอภิปรายการศึกษาทดลองที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเดือดในตัวดูดซับและสหสัมพันธ์เดือดเฉพาะสำหรับใช้ในเทคโนโลยีปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบอย่างละเอียดถี่ถ้วนเกี่ยวกับปรากฏการณ์การเดือดในตัวดูดซับในสระ ตัวดูดซับฟิล์มที่ตกลงมา และการไหลแบบบังคับตัวดูดซับสำหรับของเหลวทำงานทั่วไปและที่มีแนวโน้มว่าจะใช้งานได้ และให้รายละเอียดเทคนิคการทดลองและความก้าวหน้าล่าสุดในแนวทางการออกแบบตัวดูดซับ สุดท้ายการทบทวนมีข้อเสนอสำหรับการศึกษาในอนาคตที่จะดำเนินการเพื่อสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีปั๊มความร้อนแบบดูดซับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mingfu He ความเข้าใจเชิงกลไกของความปลอดภัยจากความร้อนภายในมีความสำคัญต่อการเสริมสร้างความยั่งยืนของเครื่องปฏิกรณ์ Light Water Reactors (LWRs) โดยเฉพาะในช่วงพลังงานชั่วคราว การทดลองถ่ายเทความร้อนเดือดหลายครั้งได้ดำเนินการเพื่อกำหนดลักษณะการตอบสนองทางความร้อนและไฮดรอลิกของเอนทิตีที่หุ้มเชื้อเพลิงต่อกำลังต่างๆชั่วคราว การศึกษานี้สรุปการทดลองการถ่ายเทความร้อนเดือดแบบชั่วคราวของกำลังเพื่อแสดงให้เห็นลักษณะเฉพาะของไฮดรอลิกเชิงความร้อนของกระแสไฟฟ้าชั่วคราว สีโหมคพลังงานชั่วคราวที่แตกต่างกันที่รายงานในเอกสารได้มีการกล่าวถึงการนำไปใช้ในการประเมินขอบความปลอดภัยจากความร้อนของ LWRs รวมถึงการทวีความรุนแรงแบบทวีคูณ, การเพิ่มทางลาด/การเพิ่มกำลังสอง, อุบัติเหตุที่เกิดจากปฏิกิริยาของ Nordheim-Fuchs, และอุณหภูมิพื้นผิวที่เพิ่มขึ้น ในการศึกษาทดลอง ของเหลวหลายชนิดรวมทั้งน้ำ สารอินทรีย์ของเหลว (FC-72, เอทานอลและของเหลว Freon) และของเหลวแฉะแข็ง (ไนโตรเจนและฮีเลียม) ถูกนำมาใช้ในการทำงานของไหลของพลังงาน การทดลองถ่ายเทความร้อนเดือดชั่วคราว ในการทดลองไหลเดือด Critical Heat Flux (CHF) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายใต้สภาวะพลังงานชั่วคราวจะสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน อย่างไรก็ตาม, ความเหนือกว่าทางความร้อนของพลังงานชั่วคราวนี้มีความสำคัญน้อยกว่าการเพิ่มขึ้นของมวลที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ลักซ์และ/หรือ subcooling ของเหลว ซึ่งหมายความว่ากลไกการพาความร้อนที่ถูกครอบงำโดยปลั๊กมวลและการระบายความร้อนด้วยของเหลวจะแข่งขันกับกลไกการนำความร้อนชั่วคราว แตกต่างจากพลังงานชั่วคราวการทดลองไหลเดือด CHF และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่รายงานในการเดือดของสระน้ำชั่วคราวการทดลองอาจน้อยกว่าสภาวะคงตัว สิ่งนี้ไม่สามารถหาเหตุผลเข้าข้างตนเองได้อย่างเพียงพอโดยใด ๆ กลไกพลังงานชั่วคราว นอกจากนี้, นัยของผลการทดลองการเดือดชั่วคราวยังนำไปสู่การประเมินความปลอดภัยทางความร้อนแบบอนุรักษ์นิยมของ LWR โดยใช้ความรู้ปัจจุบันของความร้อนเดือดในสภาวะคงตัวถ่ายโอนการทดลอง

Seongchul Jun [6] ทดลองทำการศึกษากการถ่ายเทความร้อนที่เดือดในสระของสารเคลือบ microporous ทองแดงในน้ำบอเร็ตด้วยความเข้มข้นของกรดบอริกตั้งแต่ 0.0 ถึง 5.0 vol เปอร์เซ็นต์ (vol%) เพื่อกำหนดผลกระทบของกรดบอริกในการถ่ายเทความร้อนเดือดในน้ำ การเคลือบพูนขนาดเล็กที่นำความร้อนที่อุณหภูมิสูง (HTCMC) เกิดจากการเผาทองแดงที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 67 มม. ลงบน a พื้นผิวทองแดงธรรมดา 1 ซม. 1 ซม. มีความหนาเคลือบ ~300 มม. ภายในเตาเผาในสูญญากาศ สิ่งแวดล้อม. การทดสอบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเดือดของนิวคลีเอต (NBHT) ของ HTCMC เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นของกรดบอริกเพิ่มขึ้น แต่ค่าสัมประสิทธิ์ NBHT ค่ายังคงสูงกว่าค่าของพื้นผิวเรียบอย่างมีนัยสำคัญ ค่าปลั๊กความร้อนวิกฤต (CHF) จาก 0 ถึง 1.0 vol% ถูกคงไว้ที่ ~2,000 kW/m² แล้วจึงค่อย ๆ ลดลงเป็น ~1,700 kW/m² เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอีกเป็น 5.0 vol%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อกันว่ารูขุมขนขนาดเล็กของ HTCMC ถูกปิดกั้นบางส่วนโดยความเข้มข้นของกรดบอริกสูงในระหว่างการเดือดของนิวคลีเอตโดยที่ฟองอากาศขนาดเล็กไม่ได้ถูกสร้างขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้โพรงที่กลับเข้ามาของ HTCMC เป็นบอริกความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น

Mohammed Saad Kamel [7] ความคิดเห็นที่ขัดแย้งกันเกี่ยวกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่เดือดโดยใช้นาโนฟลูอิดนั้นมีมากมายแรงจูงใจให้เราตรวจสอบกลไกนี้ การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างบริเวณจุดเดือดของนิวคลีเอตโดยใช้นาโนฟลูอิดสามารถให้ความร้อนได้มากในความร้อนยิ่งยวดที่ค่อนข้างเล็กอุณหภูมิซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าว ในการตรวจสอบปัจจุบันประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของสระน้ำเดือดจากท่อความร้อนทองแดงแนวนอนโดยใช้นาโนฟลูอิดน้ำที่มีซีเรียมออกไซด์ได้รับการศึกษาทดลอง เส้นโค้งเดือดและความร้อนเดือดในสระค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอน PBHTC สำหรับน้ำปราศจากไอออนและนาโนฟลูอิดที่สภาพบรรยากาศบูดาเปสต์ (ฮังการี)แนะนำในการศึกษานี้ ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนที่ใช้ในการศึกษานี้ถูกเจือจางเพื่อกระจายตัวอนุภาคนาโนลงในน้ำปราศจากไอออนภายในช่วง (0.001–0.04% ปริมาตร) ผลปรากฏว่า กบปสสำหรับทั้งน้ำบริสุทธิ์และนาโนฟลูอิดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มฟลักซ์ความร้อนที่ใช้ และเกิดจากฟองสปูการก่อตัวในระหว่างระบอบการเดือดของนิวคลีเอต นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเดือดของสระที่เตรียมไว้นาโนฟลูอิดได้รับการปรับปรุงสำหรับความเข้มข้นของปริมาตรทั้งหมด และการปรับปรุงที่สำคัญยิ่งกว่ารายงานด้วยปริมาตรเศษส่วน (0.007% ปริมาตร) ของนาโนฟลูอิดให้อยู่ที่ประมาณ 1.7 โดยใช้อัตราส่วนการเพิ่มประสิทธิภาพ PBHTC (PBHTCnf/PBHTCwater)เมื่อเทียบกับน้ำปราศจากไอออนที่ฟลักซ์ความร้อนต่ำ

Artem Nikulin [8] มีข้อมูลไม่เพียงพอเกี่ยวกับกระบวนการเดือดในชุดท่อแนวตั้งในแหล่งที่เข้าถึงได้การศึกษาการศึกษายเป็นระบบกำลังจำกัดการขยายตัวของกระบวนการถ่ายเทความร้อนไปสู่ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงนี้ฟิลด์การกักตุน ในกระบวนการเดือดของกระดาศนี้ของหลอดแหลมรูปสามเหลี่ยมและแนวตั้งสามท่อได้รับการศึกษาในเอทานอลที่อุณหภูมิ 78 °C งานนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลกระทบของระยะห่างระหว่างท่อต่อการถ่ายเทความร้อนค่าสัมประสิทธิ์ (HTC) และพฤติกรรมฟองอากาศ (โดยเฉพาะเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองสปู) ที่แสดงด้วยความช่วยเหลือของกล้องความเร็วสูง ทำการทดลองในระยะห่างระหว่างหลอดที่หลากหลาย (ตั้งแต่ 10.75 ถึง 0.25 มม.) และความหนาแน่นของฟลักซ์ความร้อน (ตั้งแต่ 3 ถึง 70 kW/m²).ผลลัพธ์ที่ได้แสดงว่าระยะห่างที่ยาว กล่าวคือยาวกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางขาออกของฟองสปูมาก ไม่มีอิทธิพลต่อ HTC เช่นเดียวกับพฤติกรรมฟองสปูในทางตรงกันข้าม การเว้นวรรคตามลำดับของฟองสปูเส้นผ่านศูนย์กลางขาออกมีแนวโน้มที่จะสร้างการไหลของกระสุนในมัด ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความร้อนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักซ์ สุดท้าย ระยะห่างที่แคบซึ่งสั้นกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางการออกจากฟองอากาศมากได้แสดงให้เห็นศักยภาพในการปรับปรุง HTC ในกลุ่มหลอดที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำ

Bradley D. Bock [9] เครื่องระเหยฟิล์มแบบหล่นในอุตสาหกรรมทำความเย็นมีข้อดีหลายประการเหนือชิ้นส่วนเคาน์เตอร์ที่ถูกน้ำท่วม เช่น การถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นและค่าสารทำความเย็นที่ต่ำลง วรรณกรรมที่มีอยู่ไม่ได้ระบุลักษณะอิทธิพลของความหยาบผิวและวัสดุต่อกระบวนการเดือดของฟิล์มตก วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือดังนั้นเพื่อทดลองวัดอิทธิพลของวัสดุพื้นผิวและความหยาบต่อการถ่ายเทความร้อนของฟิล์มเดือดและเดือดในสภาวะที่ด้านนอกของท่อธรรมดาแนวนอน ปัจจัยเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์มตกและเกณฑ์การแห้งแล้งทั้งหมดยังถูกวัดในการศึกษาด้วย การศึกษาได้ดำเนินการในการตั้งค่าการทดลองที่อุณหภูมิอิ่มตัว $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยใช้สารทำความเย็น R-134a ที่พลังค์ความร้อนตั้งแต่ 20 ถึง 90 kW/m² และฟิล์ม Reynolds ตัวเลขจาก 2000 ถึง 0 ด้านนอกของทองแดงธรรมดา, สแตนเลสและท่อเหล็กอ่อนเป็นหยาบด้วยกระดาษทรายเกรดต่างๆ เพื่อให้ได้ความหยาบระหว่าง 0.1 ถึง 1.9 ไมโครเมตร หลอดคือให้ความร้อนด้วยน้ำและด้วยเหตุนี้ จึงมีการวางแผนวิลสันเพื่อกำหนดลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายใน เพิ่มขึ้นในพบว่าความขรุขระของผิวเพิ่มทั้งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเดือดในสภาวะและฟิล์มตกการเปลี่ยนแปลงของวัสดุพื้นผิวลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนตามการลดลงของวัสดุการปล่อยความร้อน พบว่าปัจจัยเพิ่มประสิทธิภาพการตกของฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อความขรุขระของพื้นผิวเป็นรอยพับ แต่การเปลี่ยนแปลงของวัสดุไม่มีผลที่สังเกตได้ อุณหภูมิอิ่มตัวลดลง สรเสลดลงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเดือดของฟิล์มเดือดและลดลงเล็กน้อยการเพิ่มประสิทธิภาพของฟิล์มตกปัจจัย. การเปลี่ยนแปลงความหยาบของพื้นผิวและวัสดุไม่มีผลต่อเกณฑ์การแห้งตัวทั้งหมดอย่างชัดเจน

K. Kouloulia [10] การระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อเทคโนโลยีล้ำสมัยในปัจจุบัน ตั้งแต่ไมโครอิเล็กทรอนิกส์อุปกรณ์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ คาดว่าการถ่ายเทความร้อนเดือดจะมีบทบาทสำคัญในความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพการทำงานของส่วนประกอบที่สัมผัสกับพลังค์ความร้อนสูงในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฟิวชั่นในอนาคต ความก้าวหน้าล่าสุดในเทคโนโลยีนาโนทำให้มีการพัฒนาสารหล่อเย็นประเภทใหม่ เรียกว่า นาโนฟลูอิด ซึ่งจัดแสดงคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ที่เหนือกว่าของเหลวถ่ายเทความร้อนแบบดั้งเดิม ผลการทดลองเชิงคุณภาพของมีรายงานของนาโนฟลูอิด Al₂O₃-H₂O ภายใต้สภาวะเดือดของสภาวะแห้งเย็นและเปรียบเทียบกับน้ำที่ปราศจากไอออนที่ทำหน้าที่เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการทำงานในปัจจุบัน การประเมินภาพผลกระทบของอนุภาคนาโนต่อฟองไดนามิกและกิจกรรมของไซตนิวเคลียสที่พื้นผิวที่ร้อนของลวด NiCr เปลี่ยนทำได้โดยใช้กล้อง Guppy F-080 FireWire พบว่าการปรากฏตัวของอนุภาคนาโนทำให้ความหนาแน่นของตำแหน่งนิวเคลียส ขนาดฟองที่ออกเดินทาง และความถี่ของการเกิดฟอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากพื้นผิวของลวดความร้อน การสะสมของอนุภาคนาโนอย่างเข้มข้นบนพื้นผิวลวดความร้อนถูกระบุว่าเป็นกลไกสำคัญสำหรับความแตกต่างที่สังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด นาโนเลเยอร์ที่ฝากไว้รายงานว่ามีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวลวดลายของเส้นลวด ผลงานนี้เป็นอีกก้าวหนึ่งไปสู่การประเมินการบังคับใช้ของนาโนฟลูอิดในการทำมาเย้นด้วยการถ่ายเทความร้อนเดือด

James R. Stewart [10] เพลิงไหม้ถือเป็นอันตรายจากอุบัติเหตุครั้งใหญ่ที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดในอุตสาหกรรมเคมีและกระบวนการผลิตร่วมกับอุตสาหกรรมสถิติอุบัติเหตุที่เน้นว่าเพลิงไหม้ระรน้ำเป็นเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดบ่อยที่สุด การสร้างแบบจำลองของปรากฏการณ์ดังกล่าวดึงข้อมูลอย่างมากในการประเมินความเสี่ยงในอุตสาหกรรมและการวิเคราะห์ผลที่ตามมา สมการเชิงประจักษ์อย่างง่ายดั้งเดิมไม่สามารถอธิบายปัจจัยทั้งหมดที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของการเกิดไฟในสระหรือการออกแบบโรงงานที่ซับซ้อนมากขึ้นได้การใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ช่วยให้เข้าใจไฟในสระมากขึ้น พฤติกรรมที่จะได้รับเป็นตัวเลขและให้ความสามารถในการจัดการกับสถานการณ์ที่ซับซ้อนเอกสารนี้นำเสนอการประเมิน Fire Dynamics Simulator (FDS) สำหรับการสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ของพลของเหลวอัศจรรย์การเผาไหม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง งานตรวจสอบความสามารถของตัวแบบในการทำนายความแปรผันของเวลาในอัศจรรย์การเผาไหม้ของไฟในสระในบรรยากาศเปิด ไฟที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 ถึง 4 เมตร เกี่ยวข้องกับเอทานอลและช่วงของไฮโดรคาร์บอนเหลวเป็นเชื้อเพลิง พิจารณาและเปรียบเทียบอัศจรรย์การสูญเสียมวลเชื้อเพลิงที่คาดการณ์ไว้เมื่อเทียบกับการวัดทดลองผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองย่อยไฟโรไลซิสเหลวใน FDS ให้ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สอดคล้องกันอย่างเต็มที่แบบจำลองการคาดการณ์อัศจรรย์การเผาไหม้ของเพลิงไหม้ในสระของเหลว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างการเผาไหม้กิ่งคองที่ อย่างไรก็ตามแบบจำลองขาดการคาดการณ์รายละเอียดปลีกย่อยที่เกี่ยวข้องกับแต่ละขั้นตอนของกระบวนการเผาไหม้ชั่วคราว ล้มเหลวเพื่อคาดการณ์อัศจรรย์การสูญเสียมวลเชื้อเพลิงได้อย่างน่าเชื่อถือในระหว่างการเติบโตและการดับไฟ ผลลัพธ์แนะนำช่วงของรุ่นการปรับเปลี่ยนซึ่งอาจนำไปสู่การทำนายที่ดีขึ้นของการเจริญเติบโตของไฟชั่วคราวและระยะเวลาการสูญพันธุ์ของการเผาไหม้สำหรับไฟในสระของเหลว โดยเฉพาะ การตรวจสอบ: เทคนิคการสร้างแบบจำลองการจุดระเบิดสำหรับเชื้อเพลิงเหลวที่อุณหภูมิจุดเดือดสูง รับบอบการเผาไหม้ที่ผสมผสานทั้งเคมีแบบอนันต์และแบบมีอัตราจำกัด วิธีการแก้ปัญหาซึ่งมีผลต่อการนำความร้อนสองหรือสามมิติในเฟสของเหลว ตัวแทนทางเลือกองค์ประกอบเชื้อเพลิงสำหรับไฮโดรคาร์บอน

Somchai Wongwises [11] กลไกที่ได้รับความนิยมมากที่สุดของการกระตุ้นปลั๊กซ์ความร้อนวิกฤต (CHF) คือการทำให้แห้งผ่านการบรรจุแบบฟองเพื่อป้องกันไม่ให้ของเหลวไหลเข้าสู่ฮีตเตอร์ เป็นความรู้ทั่วไปว่าฟองอากาศที่สร้างขึ้นบนเครื่องทำความร้อนจะปิดกั้นเส้นทางการไหลขนาดเล็กสำหรับ

การไหลของของเหลวในวอร์ดลงในระหว่างการเดือดในสระได้อย่างง่ายดาย เส้นทางการไหลของของเหลวอุทกพลศาสตร์ที่ถูกบล็อกนี้มักจะนำไปสู่เพื่อทำให้แห้งและ CHF บนพื้นผิวที่ร้อน ในการศึกษา นี้ เราออกแบบส่วนการทดสอบเฉพาะเพื่อประเมินผลกระทบของเส้นทางการไหลขนาดเล็กและผนังผ่านการติดตั้งผนังทรงกระบอกอย่างใกล้ชิดไปที่เครื่องทำความร้อน เราวัด CHF สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงต่างๆ ของผนังทรงกระบอกและสังเกตเห็นแนวโน้มที่น่าสนใจในแปลงตรงกันข้ามกับความรู้ทั่วไป เราพบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพ CHF ในเส้นทางการไหลของอุทกพลศาสตร์ที่แคบลงระหว่างเครื่องทำความร้อนและผนังทรงกระบอกเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพ CHF ที่เปลือยเปล่าจากผลลัพธ์นี้ กลไกการเพิ่มประสิทธิภาพได้รับการแนะนำโดยอิงจากแรงการไหลเข้าของของเหลวจำนวนมากและระยะเวลาสั้นลงระหว่างฟองที่กำลังเติบโตและการแยกตัวออกโดยเอฟเฟกต์ผนังกัน นี้เป็นการศึกษาครั้งแรกที่รายงานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง CHF และเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของผนังทรงกระบอก

Armin Shahmardi [12] เราศึกษาบทบาทของโทโพโลยีพื้นผิว เคมีพื้นผิว และอุณหภูมิความร้อนยวดยิ่งของผนังเมื่อเริ่มเดือดการเกิดนิวเคลียสของฟองอากาศและการเจริญเติบโต และการก่อตัวที่เป็นไปได้ของฟิล์มไอที่เป็นฉนวนด้วยวิธีการติดตั้งแบบใหม่สำหรับการจำลอง MD ขนาดใหญ่ เพื่อลดผลกระทบของขนาดระบบต่อการเติบโตของฟองและการก่อตัวของฟิล์มไอ เราทำการจำลองในกล่องที่ใหญ่กว่าที่เคยพิจารณา ผลกระทบของแรงดันของระบบต่อนิวเคลียสของฟองสปู่และการเจริญเติบโตจะถูกแยกออกโดยการกำหนดแรงคงที่บนลูกสูบที่กำลังเคลื่อนที่และกลไกควบคุมความดัน การจำลองเผยให้เห็นว่าการมีอยู่ของโครงสร้างนาโนเป็นตัวกำหนดตำแหน่งนิวเคลียสและอำนวยความสะดวกในการถ่ายโอนพลังงานจากพื้นผิวที่ร้อนไปยังน้ำ เคมีพื้นผิวในทางกลับกัน ควบคุมรูปร่างของฟองที่เกิดขึ้น พื้นผิวที่ชอบน้ำช่วยเร่งฟองอย่างไรก็ตาม นิวเคลียสจะชะลอการขยายตัวของฟองสปู่ ดังนั้นจึงเป็นการเลื่อนการก่อตัวของฟิล์มไอดังนั้นพื้นผิวที่ชอบน้ำจึงให้การถ่ายเทพลังงานที่ดีขึ้นจากผนังที่ร้อนไปยังน้ำ โดยการวิเคราะห์พลังงานของระบบ จะเห็นว่าไม่คำนึงถึงโครงสร้างผนังและเคมี มีอุณหภูมิผนังที่ปริมาณพลังงานที่ถ่ายเทจากผนังสูงสุด

Jiayang Zhou [13] การเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนด้วยอัลตราซาวนด์ถือเป็นเทคโนโลยีการระบายความร้อนที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพสูง แต่การตรวจสอบและการประยุกต์ใช้อัลตราซาวนด์ในการระบายความร้อนแบบมินิแชนแนลเสริมกำลังการถ่ายเทความร้อนที่ไหลเดือดมีจำกัดมาก ในที่นี้ การติดตั้งอัลตราซาวนด์ทรานสดิวเซอร์แบบใหม่ในทิศทางไหลของแผ่นระบายความร้อน minichannel ถูกออกแบบมาเพื่อทดลองศึกษาลักษณะของความร้อนการถ่ายโอนในกระแสเดือดและอิทธิพลของพารามิเตอร์การทำงาน (เช่น ฟลักซ์ความร้อน อัตราการไหลของมวล) และอัลตราซาวนด์พารามิเตอร์ (เช่น ความถี่ กำลัง) ในการถ่ายเทความร้อนแบบเดือดในฮิตซิงก์

แบบมินิแชนเนลที่มีและไม่มีสนามอัลตราซาวนด์ การเคลื่อนที่ของบับเบิลและรูปแบบการไหลในมินิแชนเนลถูกวิเคราะห์โดยโพลาร์วิซวลไลเซชันความเร็วสูง เผยให้เห็นว่าสนามอัลตราซาวนด์ทำให้เกิดฟองอากาศมากขึ้นในตำแหน่งการสังเกตเดียวกันและไปข้างหน้าการเปลี่ยนแปลงของการเริ่มต้นของนิวเคลียสที่เดือดไปตามทิศทางการไหลเนื่องจากควิเทชันอัลตราโซนิคทำให้เกิดจำนวนมากของฟองอากาศ นอกจากนี้ยังพบฟองอากาศที่กระทบผนังช่องทางด้านซ้ายและด้านขวาและความเร็วในการเคลื่อนที่ของฟองอากาศเพิ่มขึ้น 31.9% ภายใต้สนามอัลตราซาวนด์ ผลลัพธ์ของเราแสดงให้เห็นว่าการถ่ายเทความร้อนค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้รับภายใต้สนามอัลตราซาวนด์ 53.9% สูงกว่าในกรณีที่ไม่มีสนามอัลตราซาวนด์ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันและอัตราส่วนการเพิ่มประสิทธิภาพจะลดลงในบริเวณฟลักซ์ความร้อนสูงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระบอบการไหลด้วยฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้น การศึกษานี้เป็นพื้นฐานทางทฤษฎีสำหรับการใช้อัลตราซาวนด์ช่องระบายความร้อนใน minichannel เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนเดือด

Jiayang Zhou [14] การเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนด้วยอัลตราซาวนด์ถือเป็นเทคโนโลยีการระบายความร้อนที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพสูง แต่การตรวจสอบและการประยุกต์ใช้อัลตราซาวนด์ในการระบายความร้อนแบบมินิแชนแนลเสริมกำลังการถ่ายเทความร้อนที่ไหลเดือดมีจำกัดมาก ในที่นี้ การติดตั้งอัลตราซาวนด์ทรานสดิวเซอร์แบบใหม่ในทิศทางการไหลของแผ่นระบายความร้อน minichannel ถูกออกแบบมาเพื่อทดลองศึกษาลักษณะของความร้อนการถ่ายโอนในกระแสเดือดและอิทธิพลของพารามิเตอร์การทำงาน (เช่น ฟลักซ์ความร้อน อัตราการไหลของมวล) และอัลตราซาวนด์พารามิเตอร์ (เช่น ความถี่ กำลัง) ในการถ่ายเทความร้อนแบบเดือดในฮิตซิงก์แบบมินิแชนเนลที่มีและไม่มีสนามอัลตราซาวนด์ การเคลื่อนที่ของบับเบิลและรูปแบบการไหลในมินิแชนเนลถูกวิเคราะห์โดยโพลาร์วิซวลไลเซชันความเร็วสูง เผยให้เห็นว่าสนามอัลตราซาวนด์ทำให้เกิดฟองอากาศมากขึ้นในตำแหน่งการสังเกตเดียวกันและไปข้างหน้าการเปลี่ยนแปลงของการเริ่มต้นของนิวเคลียสที่เดือดไปตามทิศทางการไหลเนื่องจากควิเทชันอัลตราโซนิคทำให้เกิดจำนวนมากของฟองอากาศ นอกจากนี้ยังพบฟองอากาศที่กระทบผนังช่องทางด้านซ้ายและด้านขวาและความเร็วในการเคลื่อนที่ของฟองอากาศเพิ่มขึ้น 31.9% ภายใต้สนามอัลตราซาวนด์ ผลลัพธ์ของเราแสดงให้เห็นว่าการถ่ายเทความร้อนค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้รับภายใต้สนามอัลตราซาวนด์ 53.9% สูงกว่าในกรณีที่ไม่มีสนามอัลตราซาวนด์ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันและอัตราส่วนการเพิ่มประสิทธิภาพจะลดลงในบริเวณฟลักซ์ความร้อนสูงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระบอบการไหลด้วยฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้น การศึกษานี้เป็นพื้นฐานทางทฤษฎีสำหรับการใช้อัลตราซาวนด์ช่องระบายความร้อนใน minichannel เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนเดือด

Matic Moze [15] การศึกษานี้ศึกษาผลกระทบของปัจจัยการออกแบบการตั้งค่าทดลองต่อ CHF เตือดในสระ เปรียบเทียบเชิงพื้นที่วิธีการคำนวณไล่ระดับอุณหภูมิและวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของฟลักซ์ความร้อนและความร้อนสูงยิ่งของพื้นผิวค่า CHF ที่รายงานบนพื้นผิวทองแดงเรียบ วัดค่าความอึดตัวของน้ำในสระที่บรรยากาศแรงกดบนตัวอย่างแนวราบที่กระจัดกระจายอย่างมาก ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ด้วยการวัดเพียงอย่างเดียวความไม่แน่นอนหรือการสุ่มของกระบวนการเตือด ข้อมูล CHF สำหรับการทดลอง 54 รายการจากสิ่งพิมพ์ 47 รายการคือวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยและ ANOVA เพื่อพิจารณาว่าปัจจัยการออกแบบการตั้งค่าการทดลองใดมีอิทธิพลค่า CHF วิธีการประมาณการไล่ระดับอุณหภูมิตามแนวแกนในก้านให้ความร้อนจะถูกเปรียบเทียบโดยใช้วิธีมอนติคาร์โลและการไล่ระดับสี่แบบไม่เชิงเส้นเชิงวิเคราะห์ ค่าฟลักซ์ความร้อนที่คำนวณโดยใช้การวัดอุณหภูมิในก้านให้ความร้อนทองแดงทรงกระบอกร่วมกับค่าความร้อนคงที่หรือขึ้นอยู่กับอุณหภูมิมีการเปรียบเทียบการนำไฟฟ้าและวิธีการคำนวณการไล่ระดับอุณหภูมิแบบต่างๆ ฟลักซ์ความร้อนและพื้นผิวโดยรวมมีการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของการวัดความร้อนสูงยิ่งยวดและผลกระทบของความไม่แน่นอนที่มีส่วนรวมถึงของมีการรายงานค่าการนำความร้อน การวัดอุณหภูมิ และระยะห่างระหว่างเทอร์โมคัปเปิล

MYEONG-GIE KANG [16] ทำการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเตือดของน้ำในสระแช่เย็นและอึดตัวเพื่อให้ได้การถ่ายเทความร้อนเฉพาะที่ค่าสัมประสิทธิ์บนท่อเอียง 3° เส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มม. ที่ความดันบรรยากาศ ค่าห้องถิ่นถูกกำหนดที่ทุก ๆ 45° จากด้านล่างสุดถึงขอบบนสุดของท่อ ค่าสัมประสิทธิ์ห้องถิ่นสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่มุมแอสิมัลทลที่ 0° และ 180° ตามลำดับ ในน้ำอึดตัว ที่ตั้งของ maxima และ minima คือขึ้นอยู่กับมุมเอียงของท่อตลอดจนระดับการทำความเย็นย่อย กลไกการถ่ายเทความร้อนที่สำคัญคือถือว่าการกวนของเหลวที่เกิดจากฟองเลื่อนและการสร้างฟองอากาศขนาดใหญ่ผ่านฟองการรวมตัว เพื่อเป็นวิธีการหาปริมาณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ได้มีการเสนอแนะสหสัมพันธ์เชิงประจักษ์

Janani Murallidharan [17] การสร้างแบบจำลองมาตราส่วนของการเตือดที่ผนังจะพิจารณาผ่าน Rensselaer แบบจำลองสถาบันโปลีเทคนิค (RPI) และภายในแบบจำลองนี้ ฟองสบู่มีลักษณะเฉพาะโดยใช้พารามิเตอร์หลักสามประการ: เส้นผ่านศูนย์กลางขาออก (D) ความหนาแน่นของไซต์นิวเคลียส (N) และการออกเดินทางความถี่ (ฉ) โดยทั่วไปแล้ว ขนาดของพารามิเตอร์ทั้งสามนี้ได้มาจากความสัมพันธ์เชิงประจักษ์ อย่างไรก็ตาม ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ความพยายามมุ่งสู่แบบจำลองโลกของกระบวนการเตือด จากสามพารามิเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้นเส้นผ่านศูนย์กลางขาออก (D) ได้รับผลกระทบน้อยที่สุดจากความไม่แน่นอนที่แท้จริงของนิวเคลียตกระบวนการเตือด คุณลักษณะนี้พร้อมกับความโดดเด่นภายในแบบจำลองการเตือดของ RPI มีทำให้เป็นผู้สมัครหลักสำหรับการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองทางกลไก การสร้างแบบจำลองกลไกของ D ส่วนใหญ่ดำเนินการผ่านการแก้สมการสมดุล แรงบนฟองอากาศ กองกำลังรวมอยู่ในสมการเหล่านี้ถูกกำหนดให้เป็นฟังก์ชันของรัศมีของฟองและ ได้รับการพัฒนาและนำไปใช้กับสภาวะแรงดันต่ำเท่านั้น ในทางกลับกัน สำหรับสภาวะความดันสูง ไม่มี ข้อมูลกลไกเกี่ยวกับการเติบโตอัตราของฟองสบู่และแรงที่กระทำต่อพวกมัน ในการศึกษา เราใช้ตัวเลข โดยตรงการจำลองควบคู่ไปกับวิธีการติดตามอินเทอร์เฟซเพื่อจำลองการเติบโตของฟองภายใต้แรงดัน สูง (สูงถึง 45 บาร์) เพื่อให้ได้ข้อมูลกลไกที่จำเป็นสำหรับ an วิธีการแบบ RPI ในการศึกษา เรา เปรียบเทียบเส้นโค้งอัตราการเติบโตของฟองสบู่ที่ได้กับการคาดการณ์ด้วยข้อมูลการทดลองที่มีอยู่

K. Koulouliasa [18] คาดว่าฟลักซ์ความร้อนสูงจะเกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ฟิวชันทดลองรุ่น ปัจจุบันและโรงไฟฟ้าฟิวชันในอนาคตไหลลดความร้อนขนาดใหญ่ต้องถูกลำเลียงออกจากเครื่องปฏิกรณ์ และไปยังโครงสร้างพื้นฐานของการผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีที่รวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และเชื่อถือได้ เพื่อให้ มั่นใจถึงการดำเนินงานที่ปลอดภัยและเป็นไปได้ทางการเงินของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแบบฟิวชัน ส่วนประกอบฟลักซ์ความร้อนสูง เช่น ไตเวอร์เตอร์ คาดว่าจะได้รับไหลลดความร้อนสูง ดังนั้นจึงต้องมีการใช้เทคนิคการทำความเย็นขั้นสูงเพื่อให้มั่นใจถึงความน่าเชื่อถือในการทำงานและอายุการใช้งานที่ยาวนานการระบายความร้อนด้วยน้ำแบบเย็นที่แรงดันปานกลาง [1,2] เป็นวิธีที่เลือกสำหรับการจัดการ ความร้อนสำหรับผู้เปลี่ยนทิศทางของ International เครื่องปฏิกรณ์ทดลองเทอร์โมนิวเคลียร์ (ITER) เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเดือดแบบ subcooled สามารถรองรับฟลักซ์ความร้อนที่สูงมาก [3] อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าน้ำมีทั้งข้อดีและข้อเสียในฐานะสารหล่อเย็นในการออกแบบแนวคิดของ โรงไฟฟ้าพลังงานฟิวชันในอนาคตข้อเสียเปรียบหลักเกิดจากข้อจำกัดในการเปลี่ยนเฟส (เช่น ฟลักซ์ ความร้อนวิกฤตCHF) [4] CHF แสดงถึงขีดจำกัดของสภาวะการทำงานที่ปลอดภัยของส่วนประกอบ หรือระบบที่ใช้การถ่ายเทความร้อนเดือดภายใต้ฟลักซ์ความร้อนคงที่

Le-DuyNguyen [19] ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สะอาดที่สุดและประหยัดที่สุด รองจากน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) เป็นรูปแบบที่ประหยัดที่สุดในการขนส่งก๊าซธรรมชาติใน ระยะทางไกล [1] อย่างไรก็ตาม การสูญเสียมวลมหาศาลของ LNG นั้นเกิดจากการรั่วของความร้อนที่ เกิดจากความแตกต่างอย่างมากระหว่างของเหลวและอุณหภูมิแวดล้อม ก่อนที่ LNG จะถูกบรรจุใน ระบบกักเก็บสินค้า (CCS) CCS มักจะถูกทำให้เย็นลงก่อนจากอุณหภูมิเริ่มต้นเป็น 140–160 K [2,3] แม้หลังจากกระบวนการทำความเย็นล่วงหน้า CCS ก็ร้อนพอที่จะทำให้ LNG เดือดเมื่อบรรจุลง ใน CCS อัตราการเดือด (BOR) ของ LNG เนื่องจากความร้อนจากผนัง CCS เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่ สำคัญที่สุดที่ต้องพิจารณาอย่างจริงจังในระหว่างการออกแบบ LNG CCS [4] ก๊าซที่เดือดจะต้องได้รับการ กู้คืนอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการสูญเสียวัสดุและพลังงาน ตลอดจน มลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม [5] นอกจากนี้ ผนังอาจพบกับความเค้นจากความร้อนที่มีนัยสำคัญซึ่งเกิดจากการควบแน่นที่ไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างกระบวนการบรรจุ [6] โดยทั่วไป ผนังฉนวน LNG CCS ประกอบด้วยชั้นของวัสดุฉนวนระหว่างตัวกันเหล็กและ

Matevz Zupancic [20] กระบวนการถ่ายเทความร้อนสองเฟสพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพมากซึ่งมักใช้ในการจัดการความร้อนวิศวกรรมกระบวนการและงานวิศวกรรมเคมี อย่างไรก็ตาม แม้จะมีความเรียบง่ายของการประยุกต์ใช้การต้มที่เรพบในชีวิตประจำวันและการวิจัยทางวิทยาศาสตร์และประยุกต์เกือบตลอดทั้งศตวรรษ เรามักไม่สามารถคาดการณ์อัตราการถ่ายเทความร้อนเดือด [1,2] ได้อย่างน่าเชื่อถือเหตุผลหลักสำหรับการสลายนี้ก็คือความซับซ้อนของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวอุ่น (กำหนดโดยรูปทรงเรขาคณิตของการวางแนว ther-คุณสมบัติ mophysical เคมีพื้นผิวและภูมิภาคประเทศ) และเดือดของเหลว [3,4] ซึ่งตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของเดือด กระบวนการกำหนดโดย (i) การกระจายและจำนวนของตำแหน่งนิวเคลียสที่ทำงานอยู่(ii) ขนาดฟอง (iii) เวลาการเติบโตของฟองและ (iv) ความถี่ของนิวเคลียสความถี่ความต้องการอย่างต่อเนื่องในการทำความเข้าใจกระบวนการเดือดอย่างลึกซึ้งคือการผลักดันการวิจัยทางวิทยาศาสตร์และประยุกต์ไปข้างหน้า ไปสู่การคาดการณ์ที่ดีขึ้นของกระบวนการเดือดและการปรับพื้นผิวเดือดให้เหมาะสม

Artem Nikulin [21] การเปลี่ยนเฟสของเฟสของเหลวและไอเป็นพื้นฐานของกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่หลากหลาย ตัวอย่างเช่น ระบบทำความเย็นแบบบีบอัดไอระเหยมีความสำคัญอย่างยิ่งเช่น เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น ปั๊มความร้อน และเครื่องทำความเย็น มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์และพลังงานความร้อน เคมี อาหาร และอุตสาหกรรมอื่นๆ โดยปกติจะเกิดขึ้นในเครื่องระเหยหรือหม้อไอน้ำของอุปกรณ์ดังกล่าวผ่านการระเหยและสามารถมาพร้อมกับการเดือดดังที่ทราบกันดีว่าการเดือดในสระ [1] ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(HTC) ที่สูงมากเมื่อเทียบกับการพาความร้อน [2] และการถ่ายเทความร้อนภายใต้การระเหย [3,4] ในสภาวะที่คล้ายคลึงกัน นอกจากนี้ การต้มน้ำในสระยังช่วยให้เกิดความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจและทางเทคนิคมากขึ้นระบบที่เชื่อถือได้มากกว่าที่ไม่ต้องใช้ปั๊มภายนอกและตัวแลกเปลี่ยนความร้อนพิเศษเมื่อเปรียบเทียบกับกระโดดแบบไหล [5] ดังนั้นผลกระทบของการจัดเรียงท่อบน HTC จึงเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีประสิทธิภาพในแง่ของขนาดและการใช้วัสดุ

Erivelto dos Santos Filho [22] ความก้าวหน้าในการวิจัยการเดือดในสระด้วยพื้นผิวที่สามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(HTC) และฟลักซ์ความร้อนวิกฤต (CHF) ผ่านพื้นผิวที่ให้ความร้อนขนาดเล็ก/โครงสร้างนาโนกระบวนการไฮบริดซึ่งเชื่อมโยงการกำจัดหรือการเพิ่มวัสดุสำหรับการก่อตัวของโครงสร้างจุลภาคตามด้วยการเพิ่มวัสดุสำหรับการสร้างโครงสร้างนาโนผสมผสานประโยชน์ที่ได้รับด้วยเทคนิคการเพิ่มความเข้มข้นที่แตกต่างกันเพื่อค้นหาประสิทธิภาพที่

เหนือกว่าในการถ่ายเทความร้อนเดือด ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของการเดือดในสภาวะบนพื้นผิวที่มีไมโครพินร่วมกับพื้นผิวที่มีโครงสร้างระดับนาโนผ่านการสะสมของอนุภาคนาโนโดยใช้ HFE-7100 ที่สภาวะอิ่มตัว พื้นผิว microtextured ถูกอิเล็กทรอนิกส์โดยการต้มของไหลนาโนลูมิเนียมกับ 0.0007% โดยปริมาตร, การใช้ไหลของความร้อนคงที่ 500 กิโลวัตต์ การทดสอบการเดือดแบบทดลองบนพื้นผิวที่มีลำดับชั้นบ่งชี้ถึงการเพิ่มประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญใน HTC (มากถึง 65% เมื่อเทียบกับพื้นผิวไมโครเท็กซ์เจอร์) เนื่องจากความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นของตำแหน่งนิวเคลียสและไดนามิกของฟองไอ พลังความร้อนสูงสุดสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุดในการทดลอง การสะสมของอนุภาคนาโนบนพื้นผิวไมโครเท็กซ์เจอร์ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับของเหลว ปรับปรุงการรีเวทของพื้นผิว

Seongchul Jun [23] การเดือดด้วยนิวเคลียสเดือดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนโดยใช้ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการเดือดของนิวเคลียสเดือดนั้นสูงกว่าการระบายความร้อนด้วยของเหลวแบบเฟสเดียวอย่างมีนัยสำคัญ ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา นักวิจัยได้ตรวจสอบวิธีการของการเสริมสร้างความร้อน nucleate เดือดถ่ายโอนและ / หรือไหลของความร้อนที่สำคัญ (CHF) โดยพื้นผิวที่ดัดแปลง fications วิธีการเหล่านี้บางวิธีได้รวมถึงการใช้สารลดแรงตึงผิวซึ่งละลายได้ในของเหลวและนาโนฟลูอิดทำให้อนุภาคนาโนอยู่ในสถานะคอลลอยด์ในของเหลว

Matic Moze [24] การวิจัยและพัฒนาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ระบบไฟฟ้านิวเคลียร์และการทำงานของเครื่องทำความเย็นนำไปเพิ่มขีดความสามารถระบายความร้อน requirements เป็นขนาดของระบบและชิ้นส่วนของพวกเขาลดลงในขณะที่กำลังต้องการการกระจายของพวกเขาจะเพิ่มขึ้น outlin-ไอ เอ็นจี ต้องการน้ำยาทำความเย็น [1] การใช้การถ่ายเทความร้อนเดือดเป็นที่ทราบกันมานานแล้วว่า เป็นวิธีที่ปฏิบัติได้สำหรับการจัดการความร้อนขั้นสูง [2] การถ่ายเทความร้อนแบบเปลี่ยนเฟสทำให้เกิดการแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวที่ระบายความร้อนและตัวกลางในการทำความเย็น (กล่าวคือ ความร้อนสูงยิ่งยวดที่พื้นผิวต่ำในการเดือด) และค่าคงที่

2.14 ตารางวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Author	Working fluid	Heating surface	Turbulence Technique	Heat flux (kw/m^2)
Zheng et al. (2016)	Distilled water	Horizontal copper pipe surface (12 mm in diameter and 90 mm in length)	The ultrasonic frequencies are 21 and 45 khz and the ultrasonic generator power is 0-30 and 90W.	$\approx 0 - 95.5$
Dinesh et al. (2017).	Distilled water	The surface of the circular groove and copper (with a diameter of 19 mm.)	Vibration with different frequency ranges, frequency 0-100 Hz and amplitude 0-2.5 mm.	$\approx 80 - 540$
Suriyawong et al. (2017)	Distilled water	brass wire surface round with a diameter of 30mm	Passive rotating blades are mounted above 2, 3 and 4 surfaces.	$\approx 160 - 600$
Dehshali et al. 2018	Distilled water	surface of rectangular copper with a diameter of 36x50 square millimeter	Twist fins are mounted on the surface (in order of 1, 3, 5, and 9)	$\approx 90 - 285$
Ozdemir et al. (2018)	Distilled water	Square silicon sheet size (15x15 mm)	Magnetic flux with densities between 4 and 10.7	$\approx 30 - 430$
Yuan et al. (2019)	Water	Copper surface, circle, diameter 10 mm.	The separated vapor-liquid flow increases and the liquid vertically settles on the heated surface through the built-in air bubbles.	$\approx 10 - 109$
Sadaghiani et al. (2020)	Nano Fluid	Square silicon sheet surface	Magnetic flux density between 4-10.7	$\approx 91 - 135$
Sarafraz et al.	Nano Fluid	Round copper surface with a diameter of 10 mm.	Magnetic flux with densities between 0.58 and 1 T	$\approx 16 - 1650$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Author	Working fluid	Heating surface	Turbulence Technique	Heat flux (kw/m^2)
Unno et al. (2020)	Water	Round copper surface with a diameter of 9 mm.	the natural frequency of the vibrating material can be regulated to match the frequency of the decay of the boiling bubble.	$\approx 300 - 6400$
K. Koulouliasa, Sergisa, Y. Hardalupasa (2019)	Water	80/20 nickel chrome (NiCr) alloy	As the heat flux increases, the boiling becomes more intense	$\approx 241.81 - 315.46$
Le-Duy Nguyena, Myungbae Kima (2021)	Liquid nitrogen	AISI 304 stainless steel flat surfaces	nonhomogeneous boiling of the liquid pool.	$\approx 80.4 \pm 3.8 - 9.8 \pm 0.5$
Matevz Zupancic, Peter Gregorci (2021)	Water	50- μm -thick zirconium alloy foil (Zr-702)	nucleation site density ranging 9 and 29 cm.	$\approx 200 - 500$
Artem Nikulin, Jean-Luc Dauvergne, Asier Ortuondo (2021)	Ethanol	stainless steel plates (AISI 304)	Tubes spacing S, center to center pitch P	$\approx 7.1 \pm 0.1 - 17.8 \pm 0.1$
Erivelto dos Santos Filho, Igor	(HFE-7100)	Micro_Fin_n1,n2,n3,n4 Height 200 , Length 250 (μm)	Various Micro_Fin texture sequences and Micro_Fin phases	$\approx 50 - 400$
Seongchul Jun (2019)	distilled water	Copper with a thickness of 67 mm.1 cm. x 1 cm.	Cu powders were mixed with a thinner, and the was spread evenly on a 1 cm 1 cm Cu block	$\approx 1000 - 1900$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Author	Working fluid	Heating surface	Turbulence Technique	Heat flux (kw/m^2)
Kumar Nishant Ranjan Sinha (2021)	distilled water	the third, fourth and fifth surface, respectively 1.77×1.77	The mechanism of increasing the slope of the boiling curve,	$\approx 0.65 - 0.95$
Mohammad i et al (2019)	distilled water	polished silicon substrates ($Ra = 0.35 \text{ nm}$)	tested square size. size ($2 \times 2 \text{ mm}$, $3 \times 3 \text{ mm}$) and pitch 4–8 mm.	$\approx 100 - 300$
Donggun Son (2020)	distilled water	Copper Microporous using three particle sizes (APSs) of $10 \mu\text{m}$, $25 \mu\text{m}$, and $67 \mu\text{m}$	test heater was A Cu block ($10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$, $k = 401 \text{ W/mK}$)	$\approx 16 - 103$
Yonghai Zhang (2021)	distilled water	surfaces with uniform micro-pillars, and the center distance of micro-pillars are $50 \mu\text{m}$, $100 \mu\text{m}$ and $200 \mu\text{m}$	further modified by depositing nanoparticles ($\sim 35 \text{ nm}$)	$\approx 40 - 500$
Matteo Bucci (2019)	deionized water	the foil and the actual boiling area of $17 \times 27 \text{ mm}^2$	across $250 \times 250 \mu\text{m}^2$ regions by head scanning velocity	$\approx 100 - 500$
Matic Može7 (2020)	distilled water	superhydrophobic circular is utilized with spot diameters between 0.25 mm and 1.0 mm	Utilization of boiling [2]. Phase-change heat transfer enables low	$\approx 150 - 500$
Mohammad i et al (2019)	distilled water	polished silicon substrates ($Ra = 0.35 \text{ nm}$)	tested square size. Size ($2 \times 2 \text{ mm}$, $3 \times 3 \text{ mm}$) and pitch 4–8 mm.	$\approx 100 - 300$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Author	Working fluid	Heating surface	Turbulence Technique	Heat flux (kw/m^2)
Rahmati et al. (2020)	Distilled water	Square copper surface, size 30x30 mm.	a variable magnetic field with a different voltage of 70-90 V and a magnetic field cutoff frequency (100-500 V). millimeterspersecond	$\approx 125 - 215$
Tanaka et al.	Distilled water	Square copper surface, size 15x15 mm.	Magnetic fields with different currents 0-0.03 amperes	$\approx 200 - 580$
Raki et al.	Water	Round copper surface, diameter 40 mm.	magnetic field with 50-300 gauss	$\approx 100 - 620$
Lee et al. (2019)	Water	The silicon wafer is 500 μ m thick.	Ultrasonic frequency 37 kHz	$\approx 0 - 2150$
Shen et al. (2019)	Nano Fluid	The Pt wire surface has a	Ultrasonic frequency 28 kHz	$\approx 72 - 190$

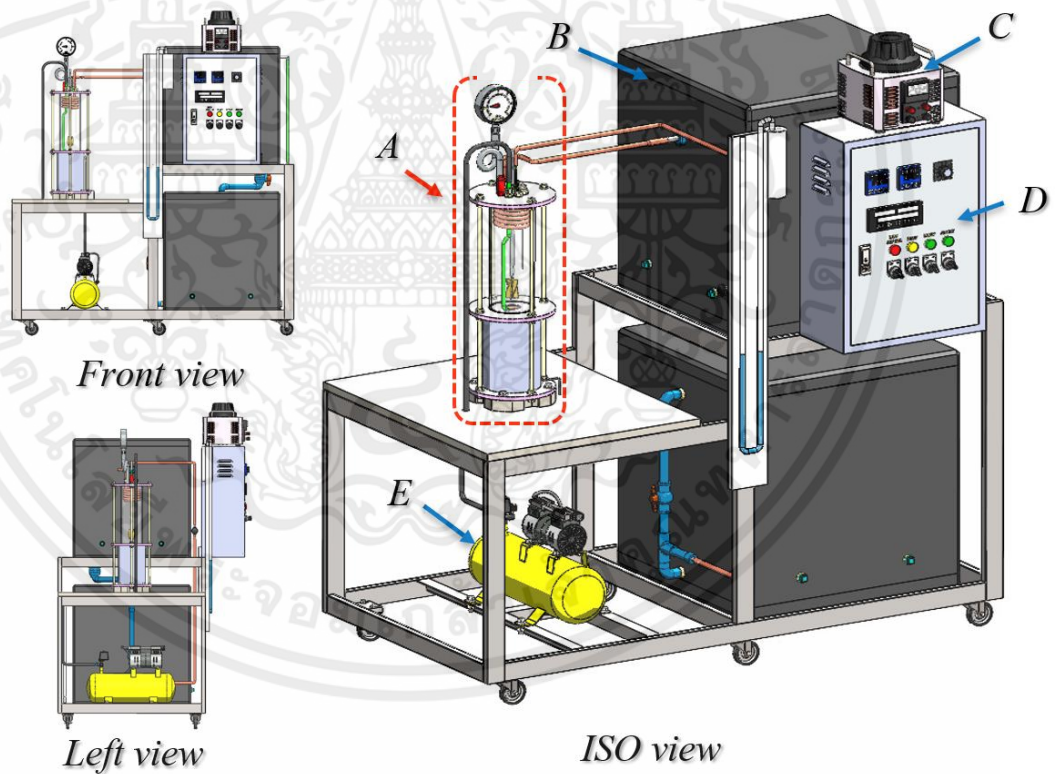
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

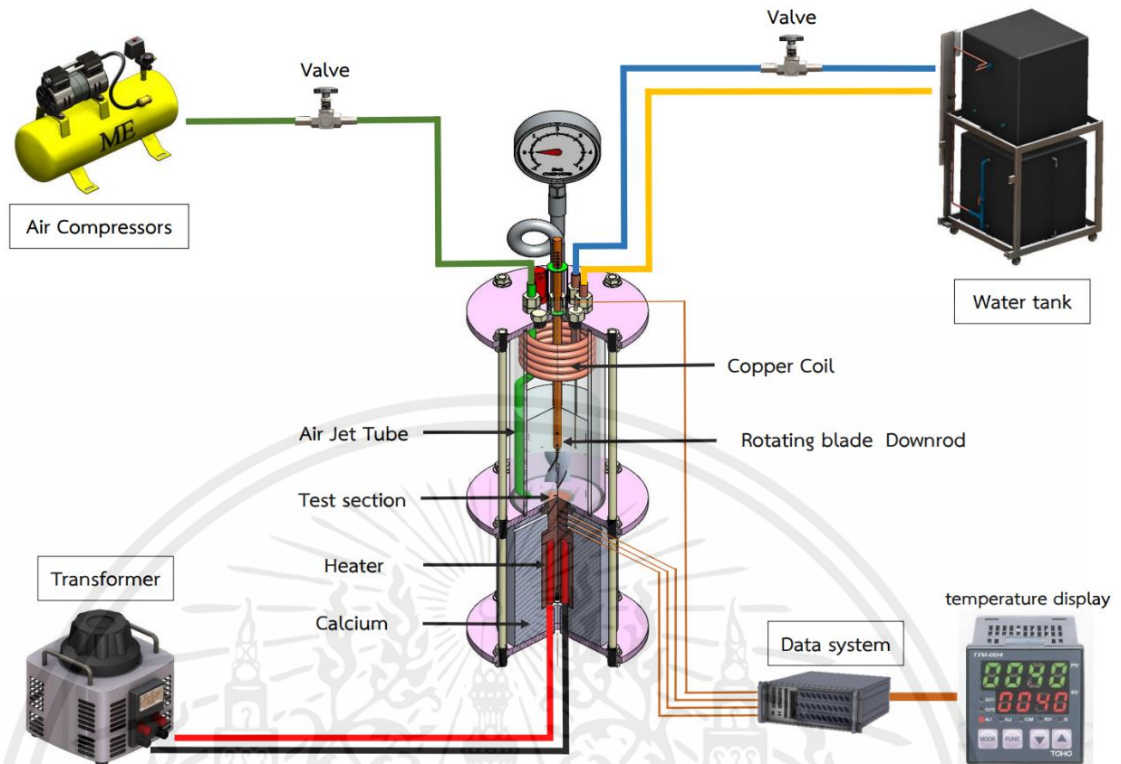
3.1 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์การทดลองสามารถแบ่งออกได้ 5 ระบบ โดยแบ่งตามการทำงานของอุปกรณ์ ประกอบด้วย 1) ระบบ ความดัน [A] ภายในบรรจุสารทำงานที่ใช้ในการทดลอง 2) ระบบหล่อเย็น [B] เพื่อควบคุมความดันภายในหลอดแก้วให้คงที่ 3) ระบบไฟฟ้า [C] เป็นระบบที่ทำหน้าที่ป้อนกำลังไฟฟ้าไปให้กับฮีตเตอร์ เพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนโดยนำความร้อนที่ได้ไปสู่พื้นผิวให้ความร้อน 4) ระบบตรวจวัดอุณหภูมิ [D] ทำการวัดอุณหภูมิทั้งสิ้น 4 ตำแหน่ง และเป็นตัวควบคุมระบบทั้งหมดของอุปกรณ์การทดลอง และ 5) ระบบลม [E] ดังแสดงในรูปที่ 3.1-3.2



รูปที่ 3.1 แผนภาพของอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนภาพสายเส้นของอุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 ระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าได้มาจากของไฟฟ้าอาคารปฏิบัติการเครื่องกลเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จึงต้องใช้ ไดโอดบริดแปลงกระแสไฟฟ้าสลับให้เป็นกระแสตรง ใช้หม้อแปลงแบบปรับค่าได้ (Voltage Regulator) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ส่งกระแสไฟฟ้าไปยังฮีตเตอร์เพื่อให้ความร้อน และใช้ มัลติมิเตอร์ทำ หน้าทีวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

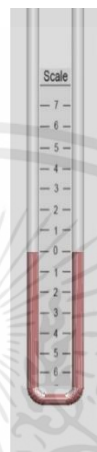


รูปที่ 3.3 หม้อแปลงแบบปรับค่าได้ (Voltage Regulator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ระบบความดัน

ระบบความดันเมื่อฮีตเตอร์มีความร้อนจะส่งผลให้สารละลายในหลอดแก้วมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะน้ำกลายเป็นไอ ทำให้มีความดันอยู่ในหลอดแก้ว ซึ่งดูได้จากมาโนมิเตอร์ ทำจากท่อสี่เหลี่ยมต่อจากฝาบนหลอดแก้วจัดต่อทรงแบบตัว U ใส่สีน้ำแดงลงไปเพื่อดูความดัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 มาโนมิเตอร์แบบตัวยู

3.1.3 ระบบหล่อเย็น

ระบบหล่อเย็นประกอบด้วยถังน้ำ 2 ถัง ป้อนน้ำ วาล์วน้ำ และคอนเดนเซอร์คอยล์ โดยถังน้ำทั้งสองเป็นขนาดทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 60x60x60 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยถังแรกจะอยู่ด้านล่าง มีปั๊มติดตั้งอยู่ภายในถัง ซึ่งทำหน้าที่สูบน้ำจากในถังให้ไหลผ่านคอนเดนเซอร์คอยล์ ที่ทำจากท่อทองแดง เพื่อให้ไอน้ำเกิดการควบแน่นทำให้สามารถควบคุมความดันภายในหลอดแก้วได้ โดยใช้การควบคุมอัตราการไหลของน้ำ เมื่อน้ำผ่านคอนเดนเซอร์คอยล์ น้ำจะไหลมารวมอยู่ที่ถังที่สองเพื่อพักน้ำให้เย็นลงแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

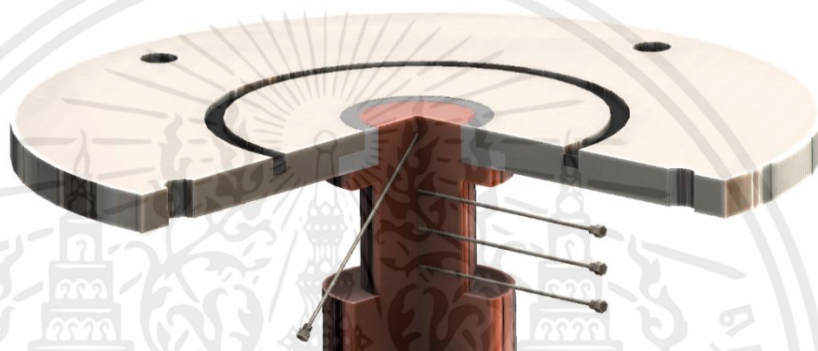


รูปที่ 3.5 ระบบหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ระบบตรวจวัดอุณหภูมิ

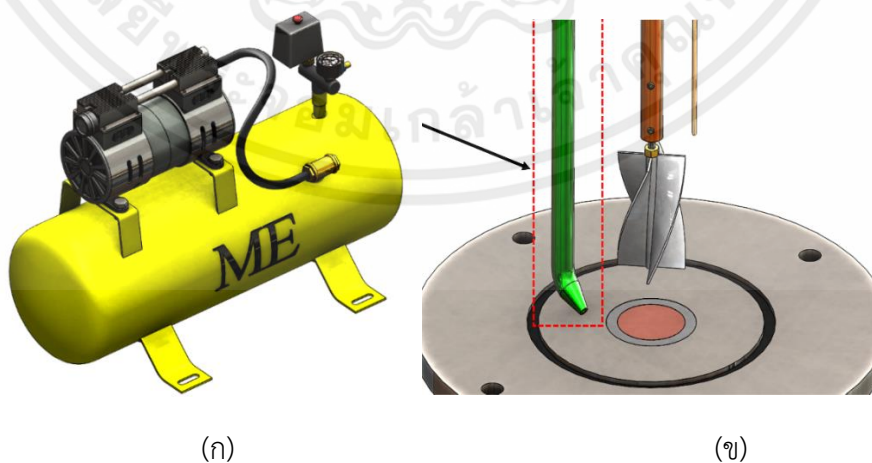
ระบบวัดอุณหภูมิประกอบด้วย เทอร์โมคัปเปิล ชนิด T ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ยาว 235 มิลลิเมตร จำนวน 3 ตัว และเทอร์โมคัปเปิล ชนิด T ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ยาว 210 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัว โดยเทอร์โมคัปเปิล ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ยาว 235 มิลลิเมตร ใช้วัดอุณหภูมิของพื้นผิวให้ความร้อนที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เพื่อใช้ในการประมาณค่าอุณหภูมิของพื้นผิวให้ความร้อน ส่วนเทอร์โมคัปเปิล ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ยาว 210 มิลลิเมตร ใช้ในการวัดอุณหภูมิของสารทำงาน



รูปที่ 3.6 ระบบตรวจวัดอุณหภูมิ

3.1.5 ระบบลม

ระบบลมประกอบด้วยถังลม (ก) และ หัวฉีด (ข) ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ทำหน้าที่เป่าลมเพื่อไล่ฟิล์มไอบริเวณพื้นผิวให้ความร้อน เมื่อสถานะของการทดลองเกินค่าฟลักซ์ ความร้อนวิกฤต ซึ่งทำให้อุณหภูมิของพื้นผิวให้ความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนอาจส่งผลให้เกิดอันตรายต่อผู้ทำการทดลองหรืออุปกรณ์การทดลองได้



(ก)

(ข)

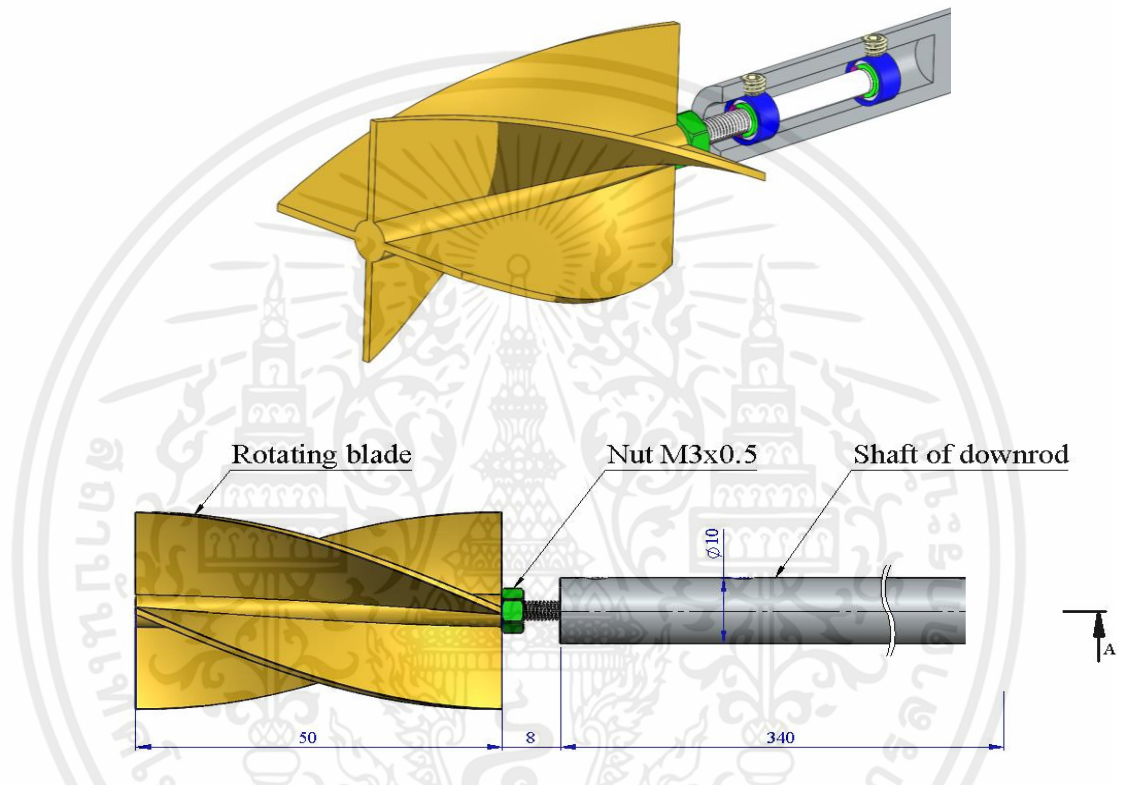
รูปที่ 3.7 ระบบลม และ หัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

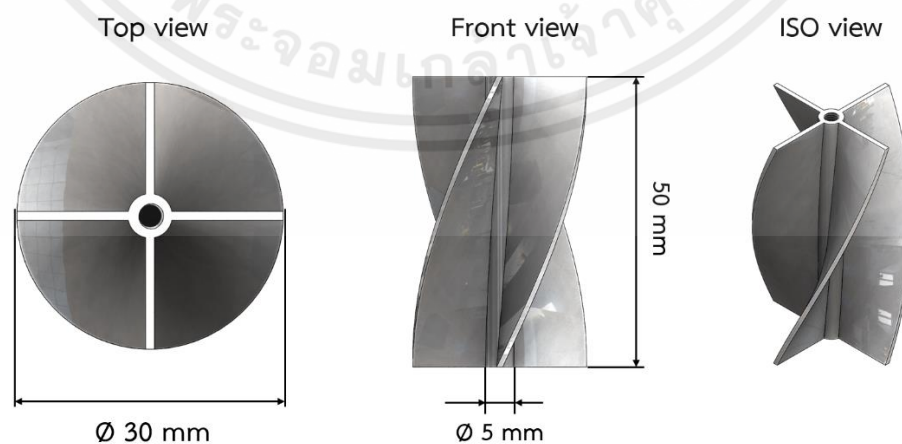
3.1.6 ใบหมุน

ประกอบด้วยลูกปืนถูกติดตั้งเข้ากับตัวแกนใบหมุน มีสกรูยึดลูกปืนไม่ให้ปืนหลุดออก ปลายด้านหนึ่งของแกนหมุนมีลักษณะเป็นเกลียวเพื่อใช้ยึดติดกับใบหมุน ดังแสดงใน รูปที่ 3.7

ใบหมุนที่ใช้ในการทดลองจะมี 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร สร้างขึ้นโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติขึ้นรูป วัสดุที่ใช้ขึ้นรูปทำจาก พลาสติก PLA (polylactic acid) ที่มีจุดหลอมเหลว อยู่ที่ 180-220 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน รูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 ลักษณะของแกนที่ใช้ในการติดตั้งใบหมุน



รูปที่ 3.9 ลักษณะของใบหมุนที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

การศึกษาผลของ สารทำงานในแต่ละความเข้มข้นตั้งแต่ 25, 75 และ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีใบมีดหมุน 4 ใบ บนพื้นผิวให้ความร้อนที่เป็นวัสดุทำจากทองแดง ที่มีผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพูล มีขั้นตอนการทำงานนี้

3.2.1 ประกอบชุดอุปกรณ์การทดลอง

3.2.2 เติมน้ำ เอทานอล ที่ความเข้มข้น 25 %, 75 % และ 95 % ตามลำดับ

3.2.3 จ่ายกำลังไฟให้กับฮีตเตอร์ 320 W เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่ออุ่นเครื่องและไล่อากาศออกจากระบบ

3.2.4 ปรับวาล์วระบบหล่อเย็นและเปิดวาล์วนิรภัยเมื่อความดันไม่ลด (คงที่ 1 atm)

3.2.5 ติดตั้งใบหมุน 4 ใบ

3.2.6 ปรับระยะ L_{SB} ที่ 5 mm, 15 mm และ 25 mm

3.2.7 ปรับค่า กำลังจ่ายไฟให้กับฮีตเตอร์ที่ 320,290,260,230,200,170,140,110,80 และ 50 W

3.2.8 ปรับวาล์วระบบหล่อเย็นเพื่อควบคุมความดันให้คงที่ 1 atm

3.2.9 เมื่ออุณหภูมิเริ่มคงที่แล้วให้บันทึกผลการทดลอง

3.2.10 เมื่อทำการบันทึกผลแล้วให้กลับไปทำหัวข้อที่ 3.2.2 จากนั้นก็ทำตามลำดับจากหัวข้อที่ 3.2.3 - 3.2.9 และทำการ ปรับระยะ L_{SB} เมื่อทำการเก็บผลหัวข้อที่ 3.2.2 ครบแล้ว



รูปที่ 3.10 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองการถ่ายเทความร้อนของการเดือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

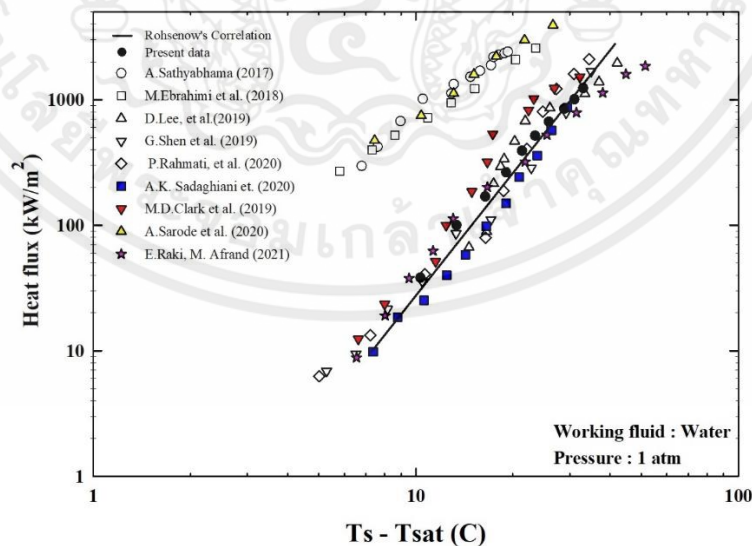
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การสอบเทียบอุปกรณ์การทดลอง

ก่อนจะเริ่มทำการทดลองและบันทึกผลการทดลองจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลการทดลองโดยจะทำการทดลองการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดที่ใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงานโดยไม่มีกาติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อนและ นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Rohsenow ดังแสดงในสมการที่ 4.1 นอกจากนี้ยังนำข้อมูลผลการทดลองของนักวิจัยท่านอื่นมาทำการเปรียบเทียบด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิพื้นผิวให้ความร้อนกับอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำงาน ($T_s - T_{sat}$) กับค่าฟลักซ์ความร้อน (heat flux) ผลการเปรียบเทียบพบว่าผลที่ได้จากการทดลองมีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกับสหสัมพันธ์ของ Rohsenow และมีความสัมพันธ์การทดลองของ (2017) A. Sathyabhama (2018) M. Ebrahimi et al. (2019) D. Lee, et al.(2019) G. Shen et al. (2020) P.Rahmati, et al. (2020) A.K. Sadaghiani et. (2019) M.D. Clark et al. (2020) A.Sarode et al. (2021) E.Raki, M. Afrand

$$q_s'' = \mu_l h_{fg} \left(\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{C_{p,l} \Delta T_e}{C_{s,f} h_{fg} Pr_l^n} \right)^3 \quad (4.1)$$



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองปัจจุบันกับสหสัมพันธ์ของ Rohsenow และข้อมูลการทดลองของนักวิจัยท่านอื่น

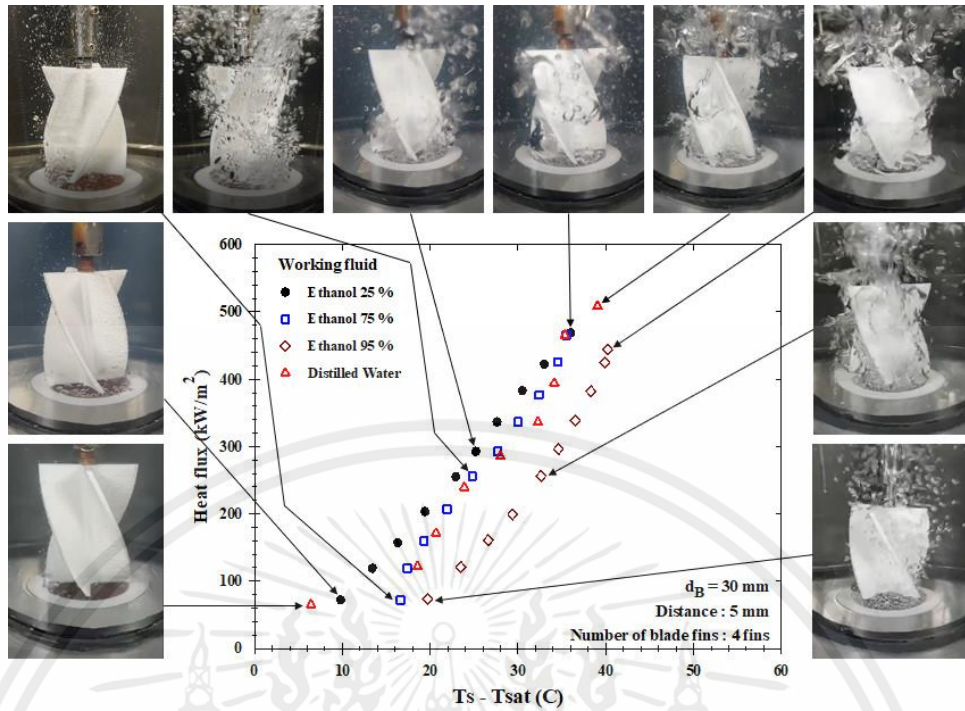
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองทดลองโดยเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน

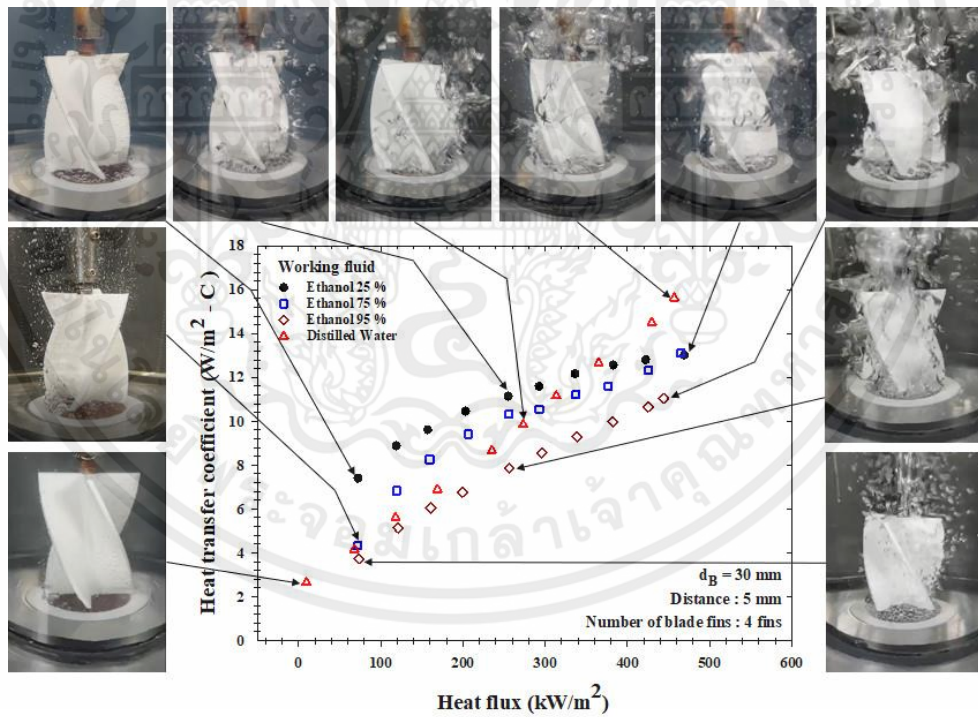
จากผลการทดลองพิจารณาผลของปริมาณความเข้มข้นของสารทำงานที่แตกต่างกันมีคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพลุดังรูปที่ 4.2 – 4.4 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพลุดของพื้นผิวให้ความร้อนที่ติดตั้งใบหมุนชนิด 4 ครีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ใบบริเวณพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 5 , 15 และ 25 มิลลิเมตร โดยเป็นการเปรียบเทียบคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพลูที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำการเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นของสารทำงานที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4.2 (ก) - 4.4 (ก) เป็นกราฟ pool boiling curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิพื้นผิวให้ความร้อนกับอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำงาน ($T_s - T_{sat}$) กับค่าฟลักซ์ความร้อน (heat flux) จะสังเกตเห็นว่าข้อมูลการทดลอง ($T_s - T_{sat}$) มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 8 - 14 องศาเซลเซียส เมื่อ ($T_s - T_{sat}$) เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าฟลักซ์ความร้อนเพิ่มขึ้นในทุกๆ ค่าของข้อมูลการทดลอง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการติดตั้งใบหมุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตรที่มีระยะใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5, 15 และ 25 มิลลิเมตร ข้อมูลการทดลองมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับเนื่องจากเมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารทำงานที่เพิ่มขึ้นและใบหมุนเกิดการหมุนจะทำให้เกิดแรงต้านทานระหว่างใบหมุนกับสารทำงาน ซึ่งแรงต้านนี้จะทำให้เกิดความปั่นป่วนของสารทำงานบริเวณเหนือพื้นผิวให้ความร้อนส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของสารทำงานเป็นการเพิ่มปริมาณความความหนาแน่นที่พื้นผิวระหว่างใบหมุนกับสารทำงานทำให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น

รูปที่ 4.2 (ข) - 4.4 (ข) เป็นกราฟ pool boiling heat transfer coefficient แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ความร้อน (heat flux) กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient) จากกราฟจะสังเกตได้ว่าที่ค่าฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้นการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารทำงานที่ทำการทดลองมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นในทุกๆ ค่าของข้อมูลการทดลองนอกจากนี้ยังพบอีกว่าการติดตั้งใบหมุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5, 15 และ 25 มิลลิเมตร ข้อมูลการทดลอง ปริมาณความเข้มข้นของเอทานอลที่ 95 , 75 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของเอทานอล ทำงานส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นแต่จะสังเกตว่าข้อมูลการทดลองปริมาณความเข้มข้นของสารทำงานที่ 95 เปอร์เซ็นต์ มีการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าข้อมูลการทดลองของปริมาณความเข้มข้นของสารทำงานที่ 75 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน 95 เปอร์เซ็นต์ มีความเข้มข้นของสารทำงานมากทำให้มีความหนาแน่นมากเกินไปส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลง



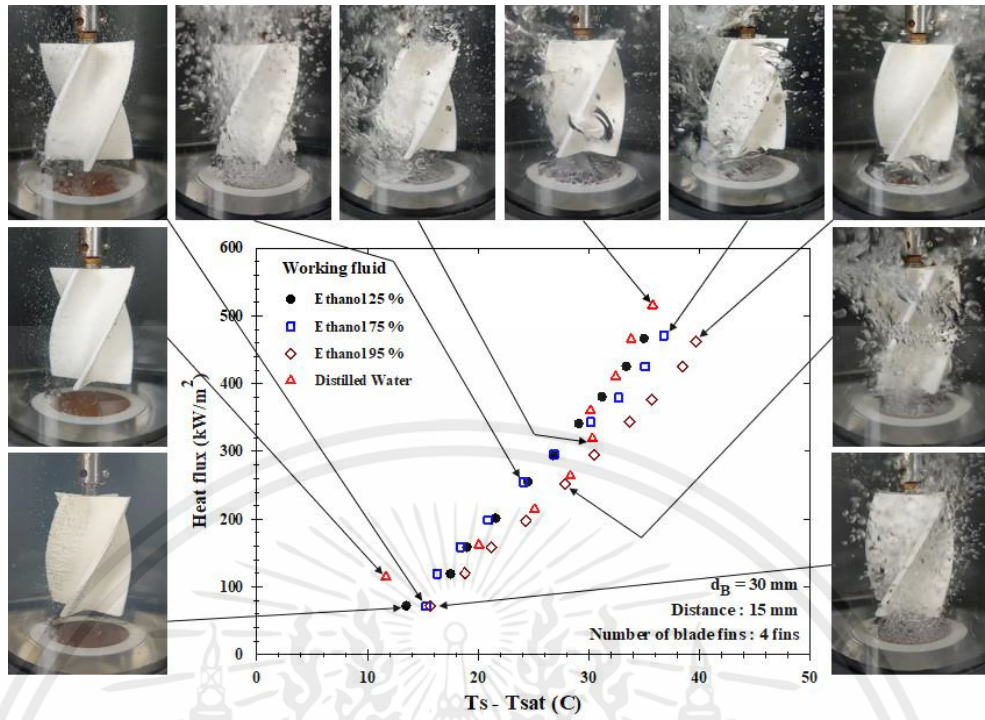
(ก) pool boiling curve



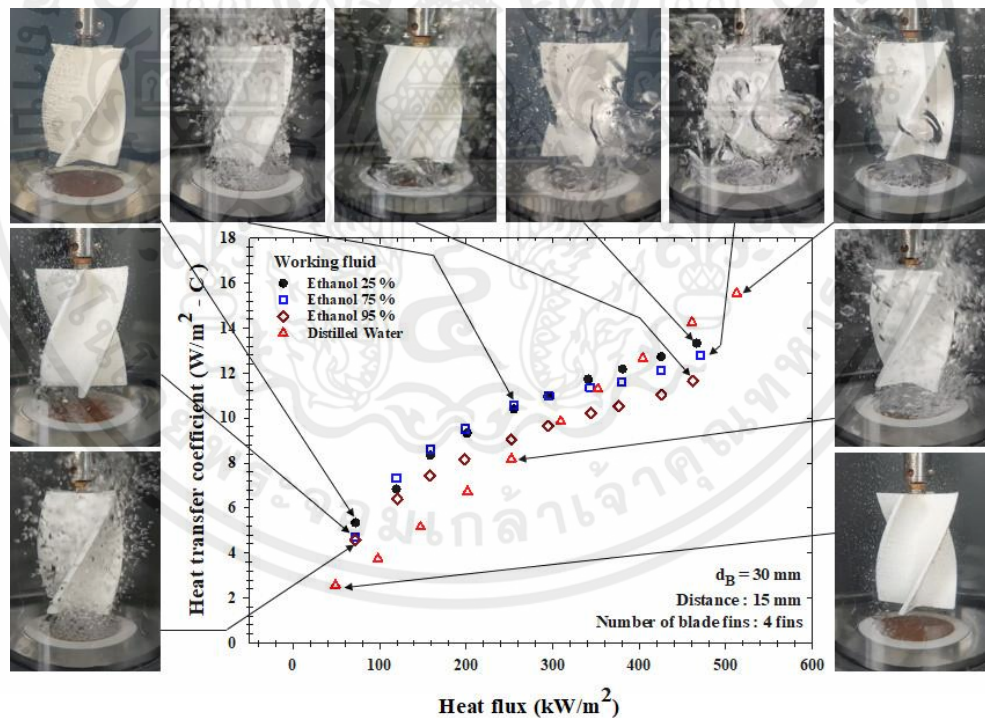
(ข) pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 4.2 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ดิดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน 25 ,75 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างใบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



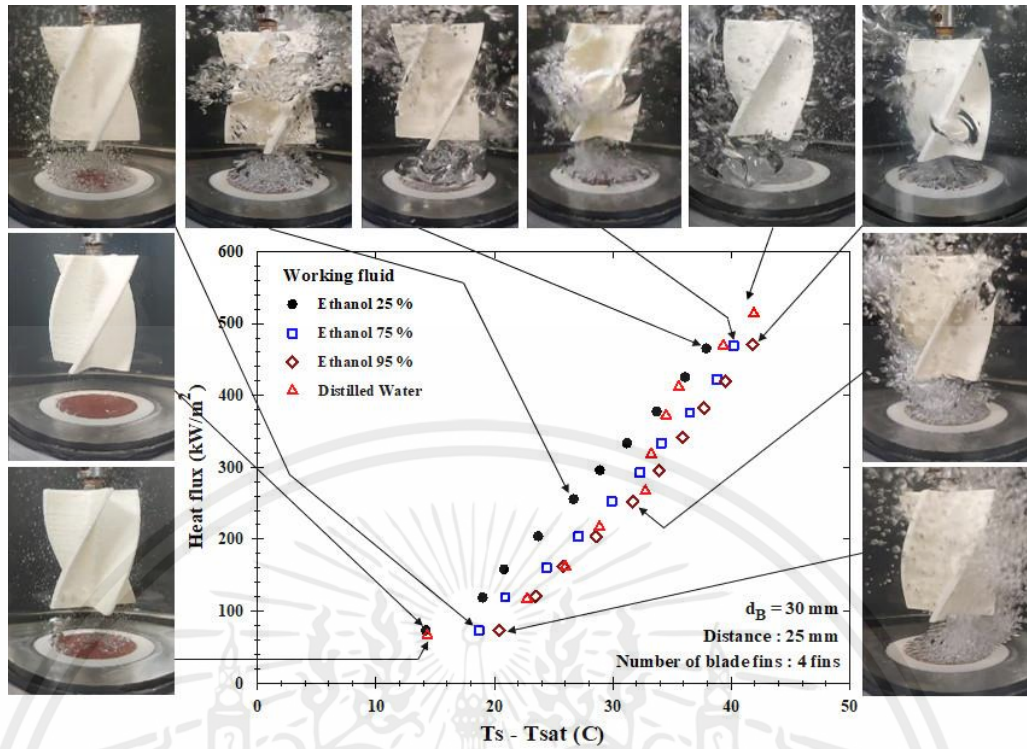
(ก) pool boiling curve



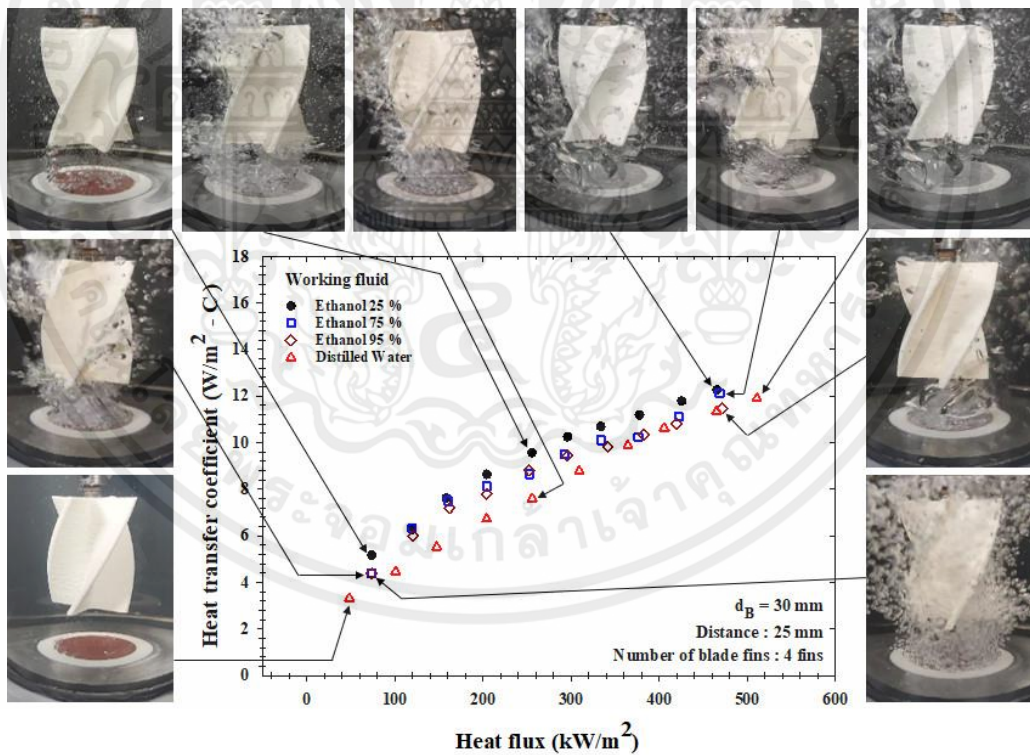
(ข) pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 4.3 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน 25, 75 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) pool boiling curve



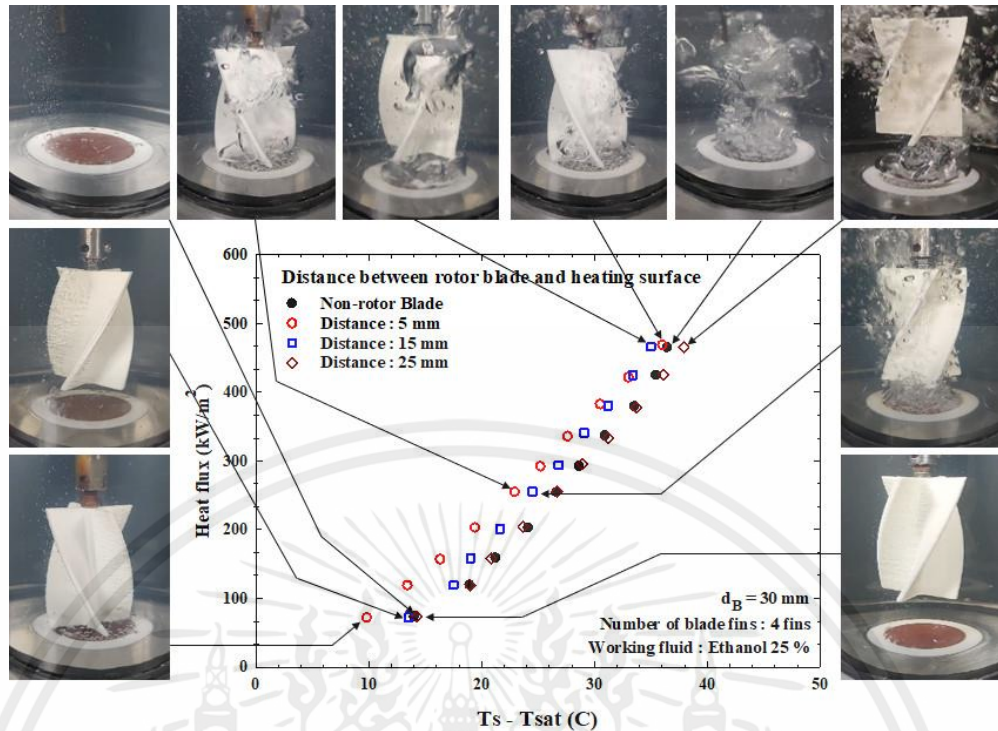
(ข) pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 4.4 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ตัดตั้งไบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน 25, 75 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ระยะห่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร

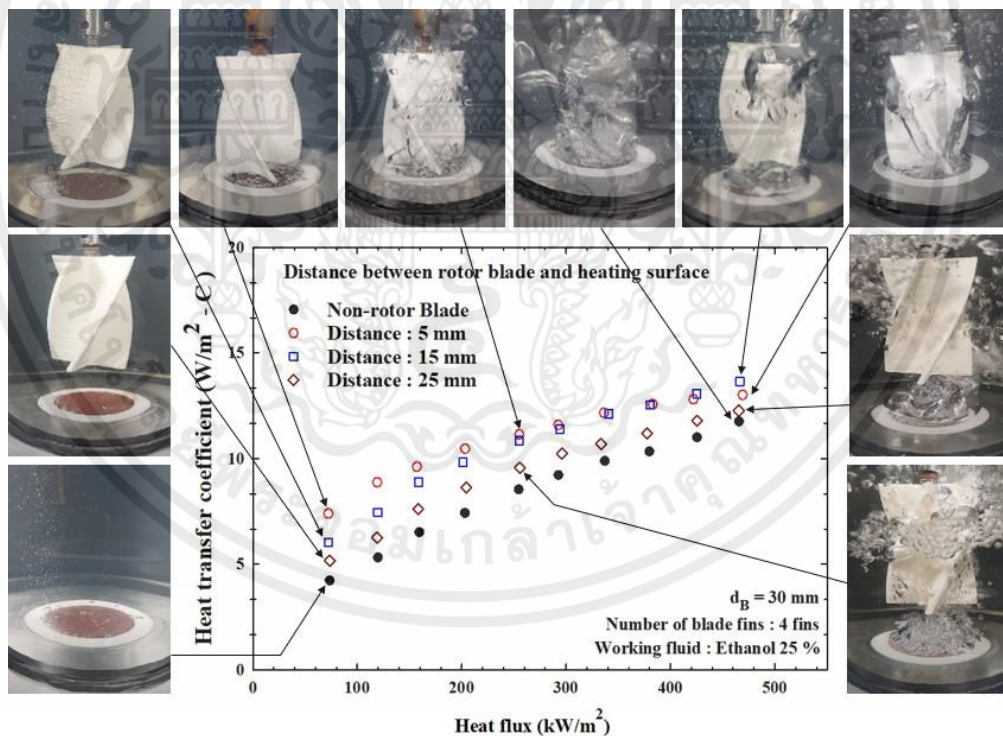
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองโดยเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน

จากผลการทดลอง พิจารณาผลของระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน ที่แตกต่างกันที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพลู ดังใน รูปที่ 4.5 – 4.8 แสดงคุณลักษณะการ ถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพลูของพื้นผิวให้ความร้อน ที่ติดตั้งไบหมุน ชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ไว้บริเวณเหนือพื้นผิว ให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15 และ 25 มิลลิเมตร โดยเป็นการเปรียบเทียบคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพลูที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างไบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อนที่แตกต่างกัน รูปที่ 4.5 (ก) – 4.8 (ก) เป็นกราฟ pool boiling curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของ อุณหภูมิของพื้นผิวให้ความร้อนกับอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำงาน ($T_s - T_{sat}$) กับค่าฟลักซ์ความร้อน (heat flux) จากกราฟจะสังเกตว่า ข้อมูลการทดลอง ($T_s - T_{sat}$) มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 8-14 องศาเซลเซียส เมื่อ ($T_s - T_{sat}$) เพิ่มขึ้น จะส่งผลทำให้ค่าฟลักซ์ ความร้อนเพิ่มขึ้นในทุกๆ ค่าของ ข้อมูลการทดลอง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการติดตั้งไบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ข้อมูลการทดลองของระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 ,15 และ 25 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ตามลำดับ เนื่องจากฟองอากาศ ที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวให้ความร้อนจะค่อยๆมีขนาดที่เพิ่มมากขึ้นจนเมื่อมีแรงลอยตัวมากพอทำให้ฟองอากาศสามารถหลุดออกจากพื้นผิวให้ความร้อน และลอยตัวขึ้นสู่พื้นผิวด้านบนของสารทำงาน ซึ่งฟองอากาศนี้จะเป็นตัวผลักดันไบหมุนทำให้เกิดการหมุน เมื่อไบหมุนเกิดการหมุน ไบหมุนด้านตรงกันข้ามกับด้านที่รับแรงดันจากแรงลอยตัวของฟองอากาศจะเกิดแรงต้านทานระหว่างไบหมุน กับสารทำงานขึ้น แรงต้านทานนี้จะทำให้เกิดความปั่นป่วนของสารทำงานบริเวณเหนือพื้นผิว ให้ความร้อน ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะห่างระหว่าง ไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อนมีค่าลดลง ขนาด และปริมาณของฟองอากาศที่เป็นตัวผลักดันไบหมุน จะเพิ่มมากขึ้น ทำให้ไบหมุนมีแรงต้านทานเพื่อที่จะสามารถสร้างความปั่นป่วนของสารทำงานบริเวณ เหนือพื้นผิวให้ความร้อนได้ดีขึ้น ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น ข้อมูลการทดลองของระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 , 15 และ 25 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ตามลำดับ เนื่องจากการลดระยะห่าง ระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน ทำให้ไบหมุนสามารถสร้างความปั่นป่วนบริเวณเหนือ พื้นผิวให้ความร้อนได้ดีขึ้น ส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น



(ก) pool boiling curve



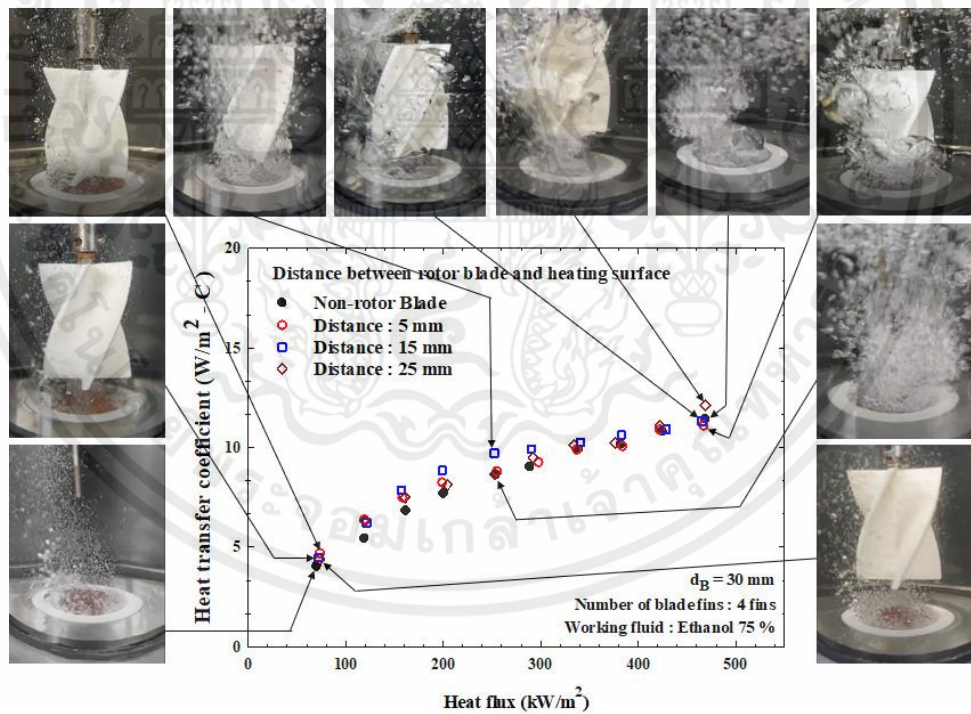
(ข) pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 4.5 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ตัดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 ,15 ,25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



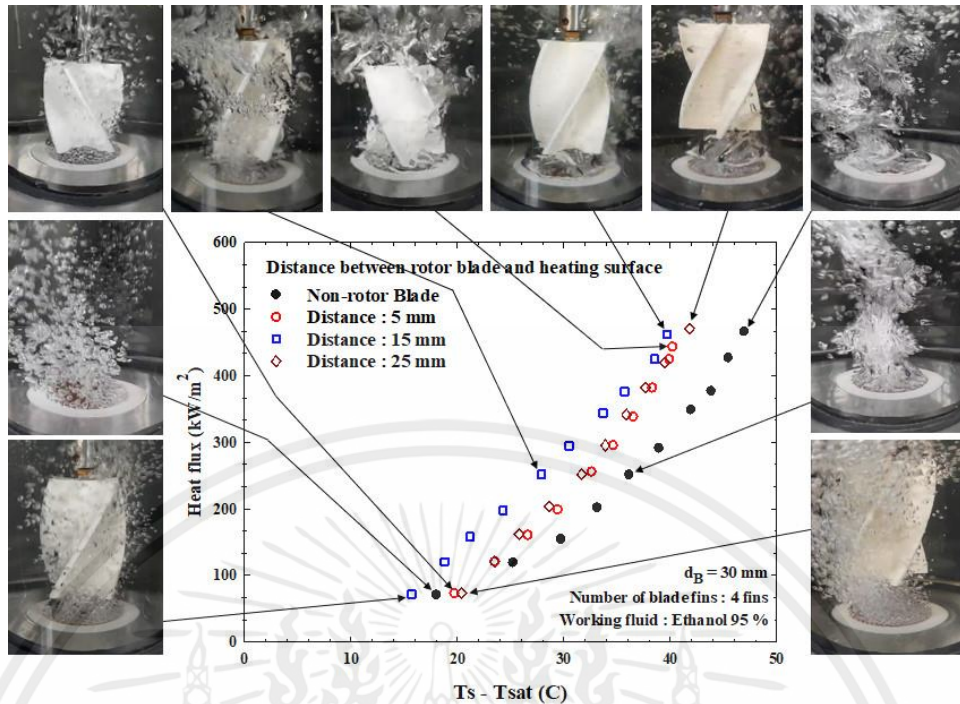
(n) pool boiling curve



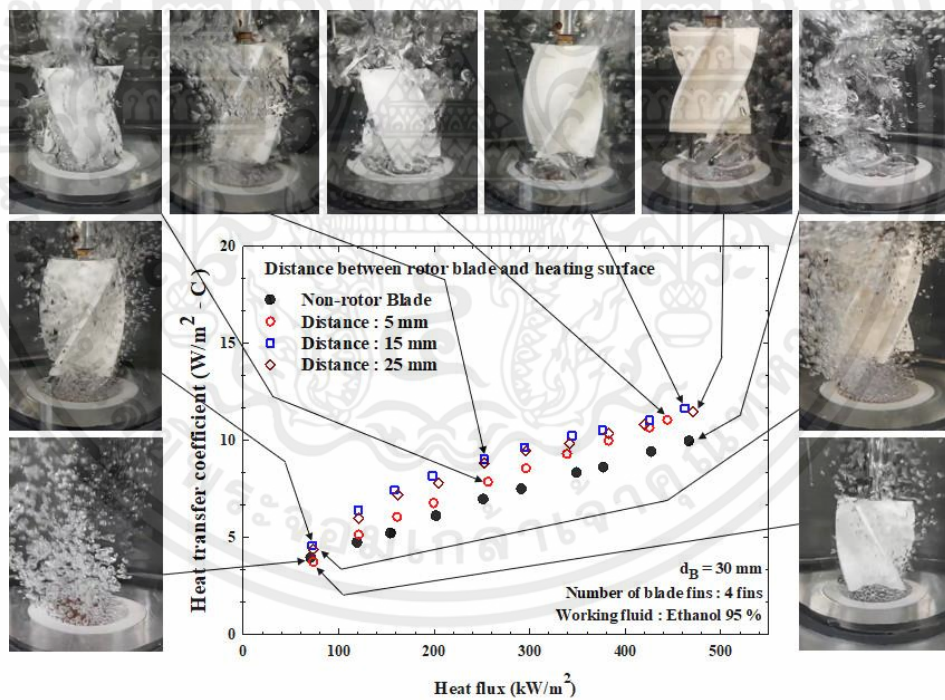
(x) pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 4.6 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ดิตตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5, 15, 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) pool boiling curve

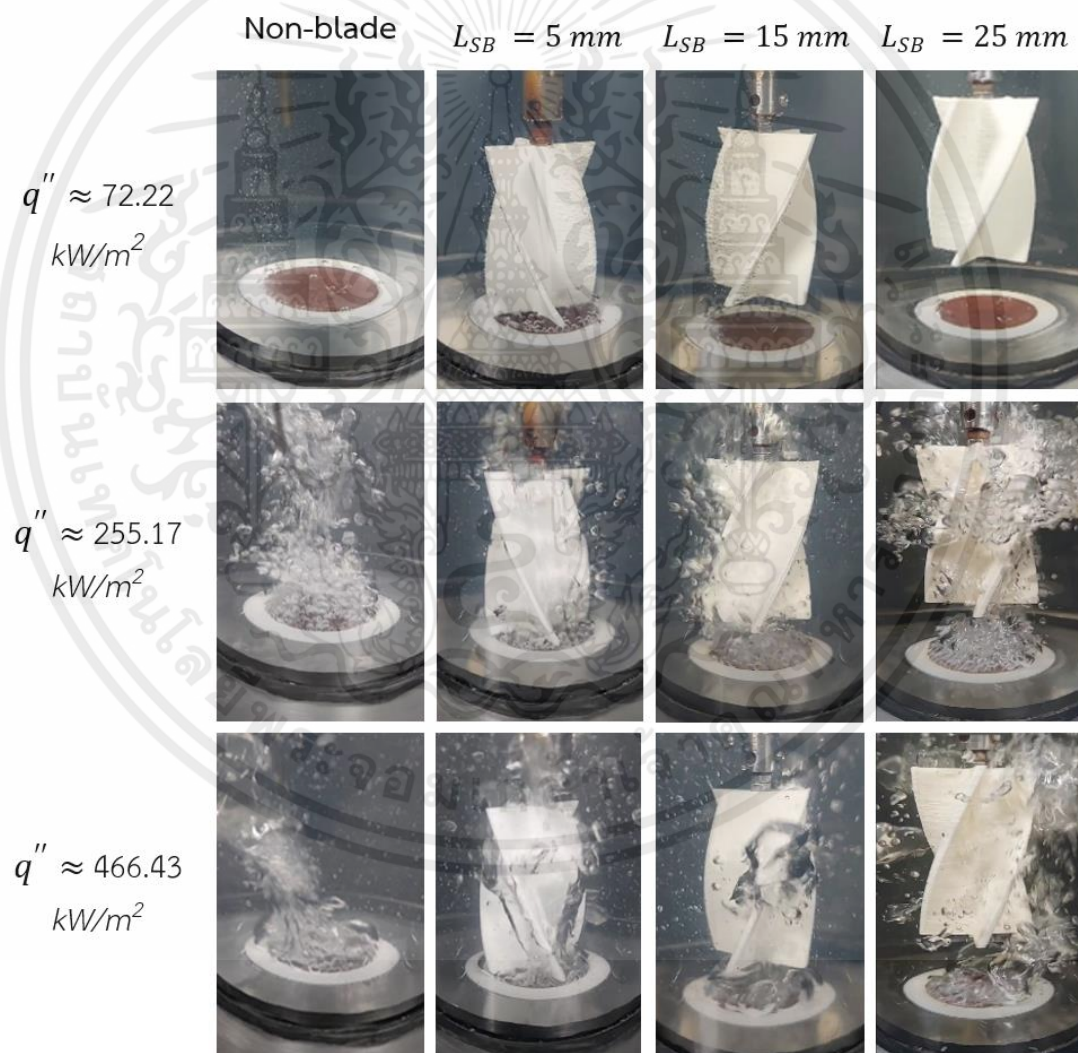


(ข) pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 4.7 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพุด ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ

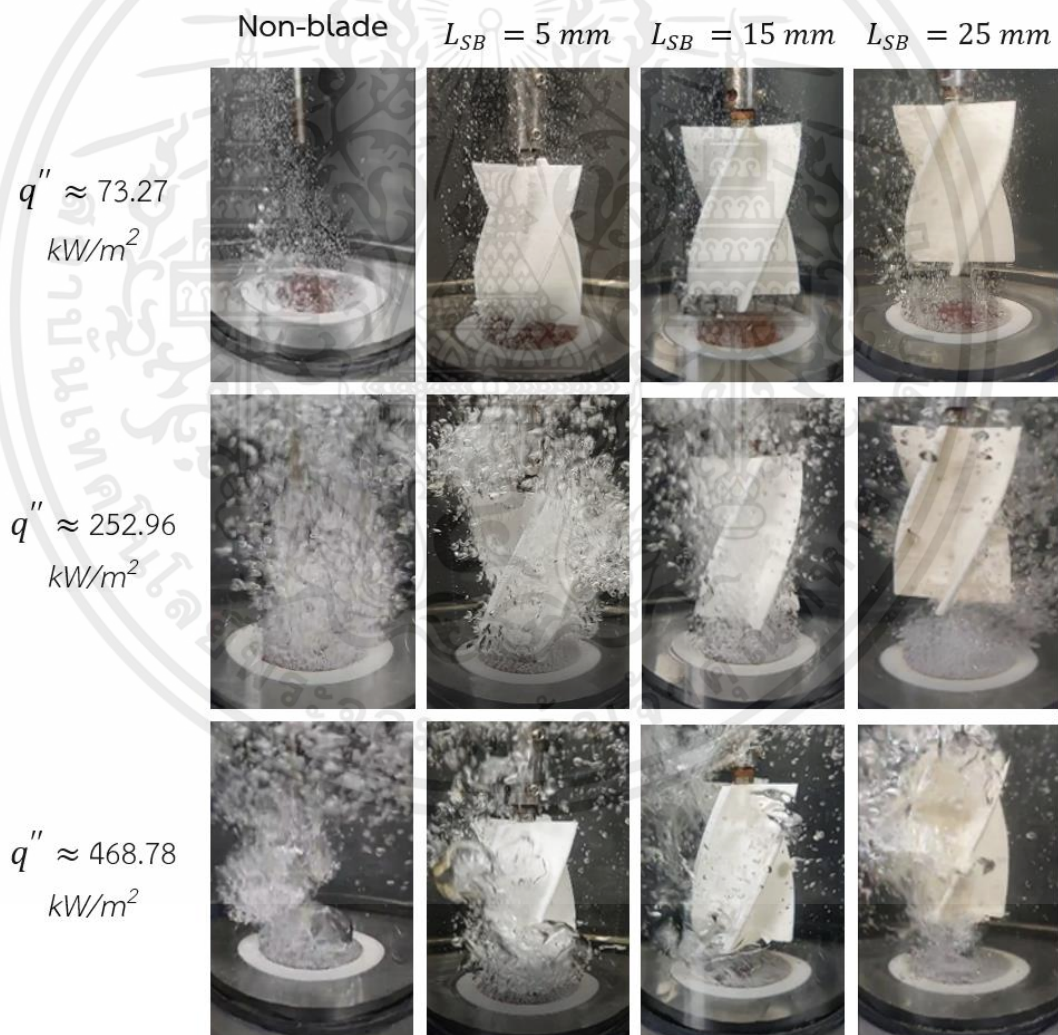
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์การเดือดของ เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งใบหมุน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างใบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อน 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ ดังรูปที่ 4.8 จะแสดงความแตกต่างของการเดือดแบบพลู โดยมีใบหมุนอยู่เหนือ พื้นผิวและไม่มีใบหมุน ในช่วง Low Heat Flux การติดตั้งใบหมุนกับไม่มีใบหมุน จะมีอิทธิพลข้าง น้อยเพราะช่วง Low Heat Flux ฟองอากาศเป็นฟองเล็ก จึงไม่สามารถทำให้ใบหมุนเกิดการหมุนได้ แต่ในช่วง High Heat Flux ที่มี ฟองอากาศขนาดใหญ่ พอที่จะทำให้ใบหมุนเกิดการหมุน จึงทำให้ค่า ความปั่นป่วนบนพื้นผิวให้ความร้อนมาก จาก รูปที่ 4.8 จะสังเกตได้ว่า ระยะห่างของ ใบหมุนกับพื้น ผิวให้ความร้อนที่ ระยะ 5 mm ปรากฏการณ์การเดือดมีความปั่นป่วนมากที่สุด และน้อยลงมาก ตามลำดับ



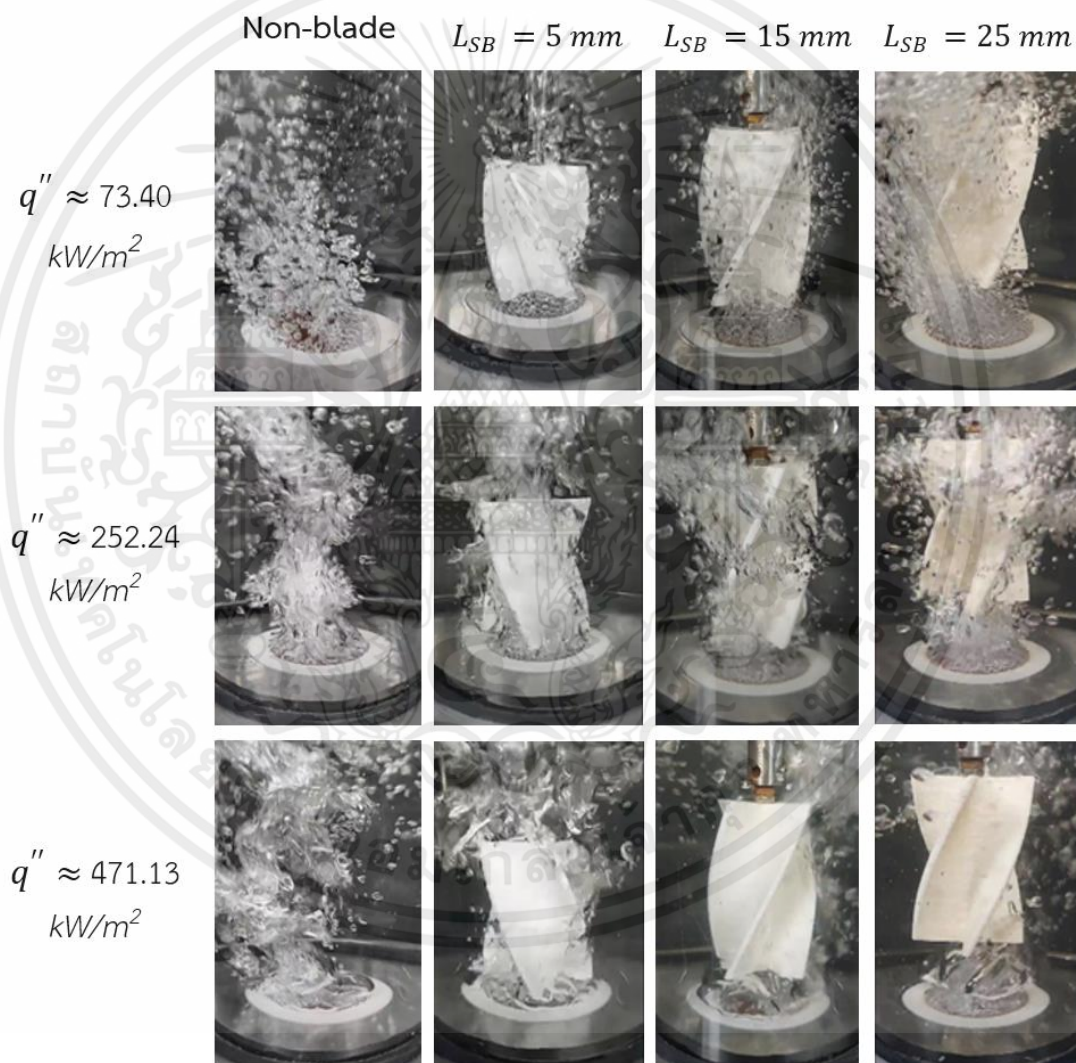
รูปที่ 4.8 ปรากฏการณ์การเดือดของ เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้ง ใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างใบหมุนกับ พื้นผิวให้ ความร้อน 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ

ปรากฏการณ์การเดือดของ เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งไบหมุน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ที่ระยะห่างไบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อน 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ ดังรูปที่ 4.9 จะแสดงความแตกต่างของการเดือดแบบพลู โดยมีไบหมุนอยู่เหนือ พื้นผิวและไม่มีไบหมุน ในช่วง Low Heat Flux การติดตั้งไบหมุนกับไม่มีไบหมุน จะมีอิทธิพลข้าง น้อยเพราะช่วง Low Heat Flux ฟองอากาศเป็นฟองเล็กและลอยขึ้นไปแตกตัวบนผิวของสารทำงาน เนื่องจาก สารมีความเข้มข้นของเอทานอลที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีจุดเดือดที่ต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง High Heat Flux ที่มี ฟองอากาศขนาดใหญ่ พอที่จะทำให้ไบหมุนเกิดการหมุน จึงทำให้ค่า ความปั่นป่วนบนพื้นผิวให้ความร้อนมาก จาก รูปที่ 4.8 จะสังเกตได้ว่า ระยะห่างของ ไบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อนที่ ระยะ 5 mm ปรากฏการณ์การเดือดมีความปั่นป่วนมากที่สุด และน้อยลงมาก ตามลำดับ



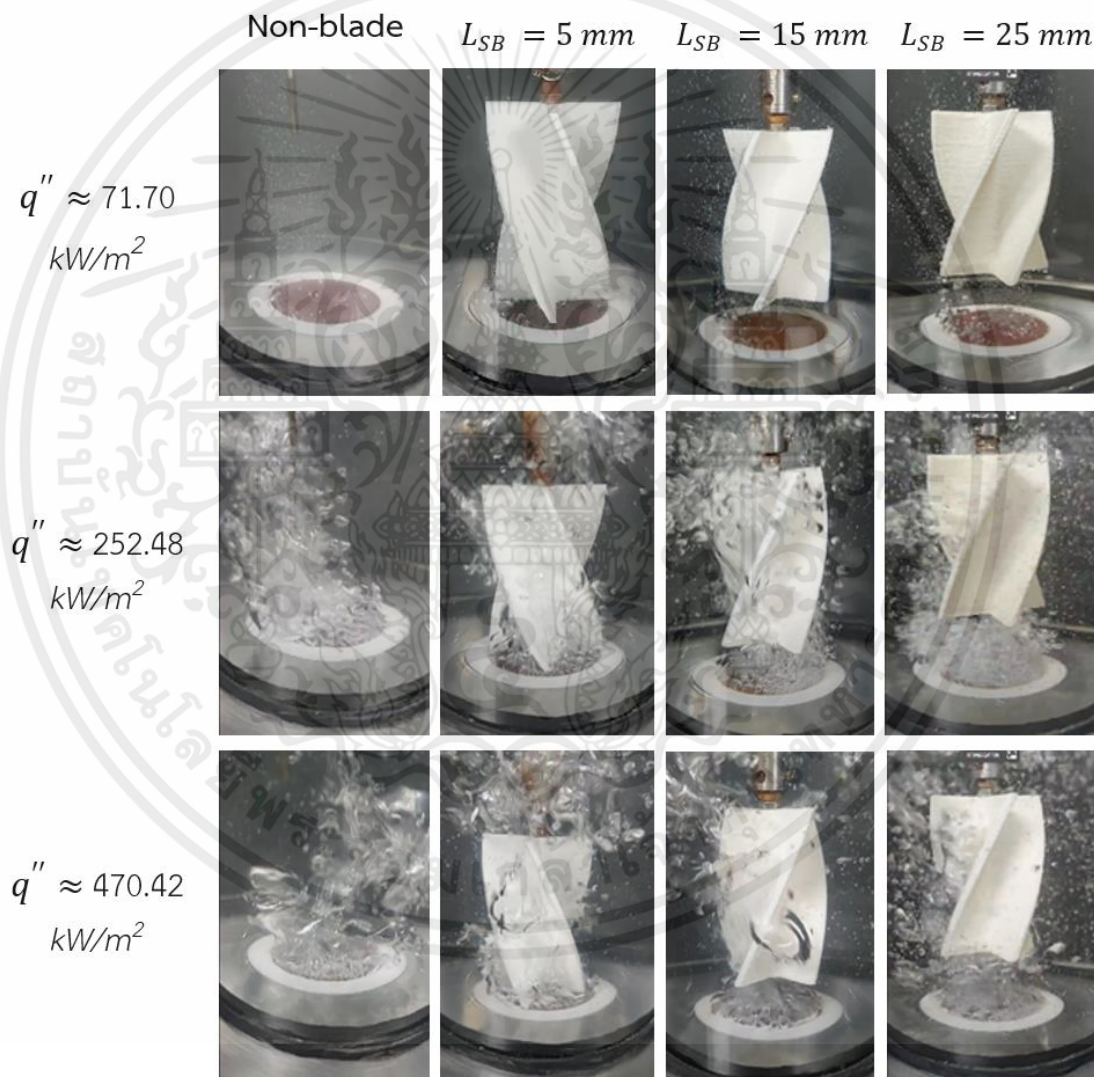
รูปที่ 4.9 ปรากฏการณ์การเดือดของ เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้ง ไบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ที่ระยะห่างไบหมุนกับ พื้นผิวให้ ความร้อน 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ

ปรากฏการณ์การเดือดของ เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งไบหมุน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ที่ระยะห่างไบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อน 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีไบ ดังรูปที่ 4.8 จะแสดงความแตกต่างของการเดือดแบบพลู โดยมีไบหมุนอยู่เหนือ พื้นผิวและไม่มีไบหมุน ในช่วง Low Heat Flux การติดตั้งไบหมุนกับไม่มีไบหมุน จะมีฟองอากาศเป็น ฟองเล็ก และมีจำนวนฟองที่มากที่สุดเพราะ จุดเดือดที่ต่ำที่สุดจึงทำให้มีการเกิดฟองอากาศที่มาก ในช่วง High Heat Flux ที่มี ฟองอากาศขนาดใหญ่ พอที่จะทำให้ไบหมุนเกิดการหมุน จึงทำให้ค่า ความปั่นป่วนบนพื้นผิวให้ความร้อน จาก รูปที่ 4.8 จะสังเกตได้ว่า ระยะห่างของ ไบหมุนกับพื้นผิวให้ ความร้อนที่ ระยะ 5 mm ปรากฏการณ์การเดือดมีความปั่นป่วนมากที่สุด และน้อยลงมากตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ปรากฏการณ์การเดือดของ เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้ง ไบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ที่ระยะห่างไบหมุนกับ พื้นผิวให้ ความร้อน 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีไบ

ปรากฏการณ์การเดือดของน้ำกลั่น ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ที่ระยะห่างใบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อน 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ ดังรูปที่ 4.8 จะแสดงความแตกต่างของการเดือดแบบพลู โดยมีใบหมุนอยู่เหนือพื้นผิวและไม่มีใบหมุน เนื่องจาก น้ำกลั่นมีจุดเดือดที่สูงกว่า เอทานอล ในช่วง Low Heat Flux การติดตั้งใบหมุนกับไม่มีใบหมุน จึงทำให้ฟองอากาศมีน้อยมาก จึงไม่สามารถทำให้ใบหมุนเกิดการหมุนได้ แต่ในช่วง High Heat Flux ที่มี น้ำกลั่นจะมีฟองอากาศขนาดใหญ่ พอที่จะทำให้ใบหมุนเกิดการหมุน จึงทำให้เกิด ความปั่นป่วนบนพื้นผิวให้ความร้อน มากกว่า เอทานอล ที่เข้มข้นที่ 25 75 และ 95 เปอร์เซ็นต์ จึง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เอทานอล



รูปที่ 4.11 ปรากฏการณ์การเดือดของน้ำกลั่น ติดตั้งใบหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ที่ระยะห่างใบหมุนกับ พื้นผิวให้ความร้อน 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่มีใบ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์นี้ได้มีการศึกษาคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อน สำหรับการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือด โดยในการทดลองได้มีการติดตั้งไบหมุนชนิด ขนาด และระยะห่างระหว่างไบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน ที่ไบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่าน-ศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 15 และ 25 มิลลิเมตร ซึ่งการทดลองจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่มีฟลักซ์ความร้อน อยู่ในช่วง $73.41 - 470.80 \text{ kW/m}^2$ ทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศ พื้นผิวให้ความร้อนเป็นพื้นผิวทองแดงลักษณะวงกลมในแนวนอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ใช้เอทานอล 25 75 และ 95 เปอร์เซ็นต์เป็นสารทำงาน และ ทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศ สำหรับผลที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ความเข้มข้นของสารทำงานมีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของพื้นผิวให้ความร้อนค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ตามลำดับ เมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของ สารทำงานที่น้อยลง เนื่องจาก ความเข้มข้นของสารทำงานมีจุดเดือดที่ ต่างกันตามลำดับ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน มีค่าน้อยลงตาม ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น แต่สารทำงานความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่มากกว่าสารทำงานที่มีความเข้มข้น 75 และ 95 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความเข้มข้นของสารทำงานปริมาณของความเข้มข้นที่น้อยที่สุด ทำให้จุดเดือดทำที่สุด จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด

5.1.2 ระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อนมีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของพื้นผิวให้ความร้อน โดยระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 15 และ 25 มิลลิเมตร มีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่น้อยลง ตามลำดับ ระยะห่างระหว่างไบหมุนที่สูงขึ้น กับพื้นผิวให้ความร้อน และปริมาณของฟองอากาศที่เกิดขึ้นมากตามลำดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้ไบหมุนสามารถหมุนได้ดี สร้างความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นเหนือพื้นผิวให้ความร้อนได้มากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการติดตั้งโบริมมูนไว้บริเวณเหนือพื้นผิวให้ความร้อน

ชนิดของโบริมมูน (ครีป)	ความเข้มข้นสารทำงานเอทานอล (มิลลิเมตร)	ระยะห่างระหว่างโบริมมูนกับพื้นผิวให้ความร้อน (มิลลิเมตร)	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ลดลงเปอร์เซ็นต์ (%)
4	25	5	2.66
4	75	5	3.82
4	95	5	7.41
4	25	15	1.21
4	75	15	1.78
4	95	15	3.61
4	25	25	6.22
4	75	25	6.11
4	95	25	4.41

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

5.2.1 โบริมมูนที่ใช้ในการทดลองควรเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติที่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ดี และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติระหว่าง หรือหลังทำการทดลอง

5.2.2 ในการทดลองควรทดลองอย่างต่อเนื่องในสภาวะนั้นๆ จนเสร็จ ไม่ควรพักการทดลองไว้แล้วจึงกลับมาทดลองต่อจนเสร็จ

5.2.3 ในระหว่างทดลองควรมีผู้ทดลองอย่างน้อย 2 คน เพื่อสำรองไว้ในกรณีฉุกเฉิน

5.2.4 ในระหว่างทำการทดลองไม่ควรสัมผัสกับชิ้นส่วน หรืออุปกรณ์โดยตรง ควรมีอุปกรณ์ในการป้องกันความร้อน เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการทดลองโดยใช้ความร้อน อาจเกิดการบาดเจ็บแก่ตัวผู้ทดลองได้

5.2.5 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของความสูงของโบริมมูน ลักษณะของพื้นผิว ให้ความร้อน และความดันต่างๆ ที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน

บรรณานุกรม

- (2017) A. Sathyabhama, A. Dinesh Applied Thermal Engineering 119 (2017) 176–188
- (2018) M. Ebrahimi-Dehshali et al. Applied Thermal Engineering 135 (2018) 170–177
- (2019) D. Lee, et al. International Communications in Heat and Mass Transfer 106 (2019) 22–30
- (2019) G. Shen et al. International Journal of Heat and Mass Transfer 138 (2019) 516–523
- (2020) P. Rahmati, et al. Applied Thermal Engineering 164 (2020) 114439
- (2020) A.K. Sadaghiani et International Journal of Thermal Sciences 155 (2020) 106420
- (2019) M.D. Clark et al. International Journal of Heat and Mass Transfer 128 (2019) 1095–1101
- (2020) A. Sarode, R. Raj and A. Bhargav International Journal of Heat and Mass Transfer 156 (2020)
- (2021) E. Raki, M. Afrand and A. Abdollahi International Journal of Heat and Mass Transfer 165 (2021) 12066
- (2020) M.M. Sarafraz et al. International Journal of Thermal Sciences 147 (2020) 106131
- (2020) N. Unno, K. Yuki and J. Taniguchi et al. International Journal of Heat and Mass Transfer 153 (2020)
- (2020) T.Tanaka, K. Miyazaki and T. Yabuki International Journal of Heat and Mass Transfer 157 (2020) 119
- (2019) Shoukat Alim Khan boiling heat transfer with water, International Journal of Thermal Sciences, 82, pp. 111-121.
- (2018) Zhen-hua Liu, Liang Liao Sorption and agglutination phenomenon of nanofluids on a plain heating surface during pool boiling, International Journal of Heat and Mass Transfer, 151, pp.
- (2017) In Cheol Bang, Soon Heung Chang Boiling heat transfer performance and phenomena of Al₂O₃-water nano-fluids from a plain surface in a pool, International Journal of Heat and Mass Transfer, 148, pp. 2407-2419.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- (2020) Sarit K. Das, Nandy Putra, Wilfried Roetzel Pool boiling characteristics of nano-fluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, 146, pp. 851-862.
- (2016) Sahu, R.P., Sinha-Ray, S., Sinha-Ray, S. and Yarin, A.L. Pool boiling on nano-textured surfaces comprised of electrically-assisted supersonically solution-blown Mass Transfer, 107, pp. 521-535.
- (2019) Jung, J.Y., Kim, E.S. and Kang, Y.T. Stabilizer effect on CHF and boiling heat transfer coefficient of alumina-water nanofluids, Int. J. of Heat and Mass Transfer, 105, pp. 1941-1946.
- (2017) Sarafraz, M.M. and Hormozi, F. Nucleate pool boiling heat transfer characteristics of dilute Al₂O₃-Ethylene glycol nanofluids, Int. C. in Heat and Mass Transfer, 120, pp. 96-104.
- (2020) Baffigi, F. and Bartoli, C. Influence of the ultrasounds on the heat transfer in single phase free convection and in saturated pool boiling, Experimental Thermal and Fluid Science, 101, pp. 12-21.
- ที่มาของรูปภาพที่ 2.1 - 2.2 <https://www.trueplookpanya.com>
- ที่มาของรูปภาพที่ 2.3 - 2.4 <http://www.research-system.siam.edu/images/Mechanical>
- ที่มาของรูปภาพที่ 2.5 <http://sriect.in/UploadedFiles/131915820070912000.pdf>
- ที่มาของรูปภาพที่ 2.6 <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/heat-transfer/boiling-and-condensation/boiling-modes-types-of-boiling/>
- ที่มาของรูปภาพที่ 2.7 <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/heat-transfer/boiling-and-condensation/boiling-modes-types-of-boiling/>
- ที่มาของรูปภาพที่ 2.10 <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/heat-transfer/boiling-and-condensation/boiling-modes-types-of-boiling/>
- ที่มาของรูปภาพที่ 2.11 - 2.12 <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/heat-transfer/boiling-and-condensation>
- ที่มาของรูปภาพที่ 2.13 - 2.15 <https://www.nature.com>
- ที่มาของรูปภาพที่ 2.16 - 2.19 <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/heat-transfer/boiling-and-condensation/boiling-modes-types-of-boiling/>



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลทางเทคนิค

ข้อมูลทางเทคนิคของเทอร์โมคัปเปิล

สมการการสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิลประเภท T (Type T)

เทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 1 $y = 0.9906x - 1.8821$ (T₁)

เทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 2 $y = 0.9899x - 1.8911$ (T₂)

เทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 3 $y = 0.9897x - 1.9031$ (T₃)

เทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 4 $y = 0.9901x - 1.993$ (T₄)

เทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 5 $y = 0.9899x - 2.03$ (T₅)

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

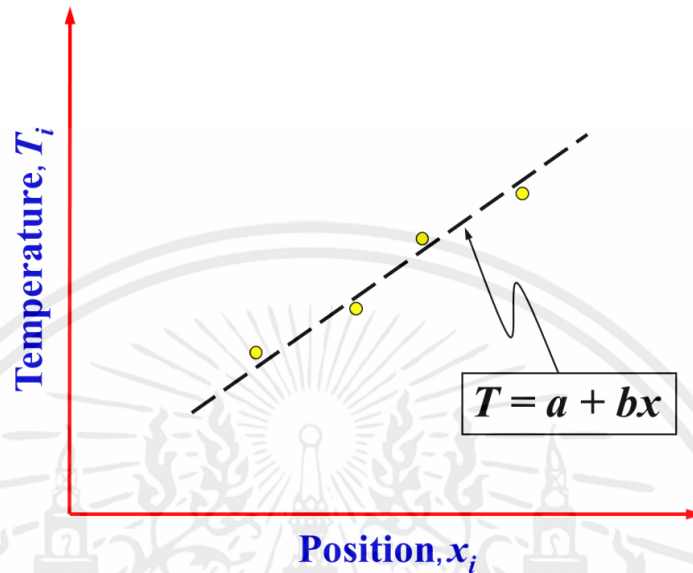




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

สมการประมาณค่าอุณหภูมิของพื้นผิวให้ความร้อน (T_s) สร้างจาก linear least Square Method



เงื่อนไขสำหรับ R^2 ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ

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

สำหรับ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ เชิงเส้น

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

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

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

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

ทำให้ได้เป็นสมการ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เขียนในรูปเมตริกซ์

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก

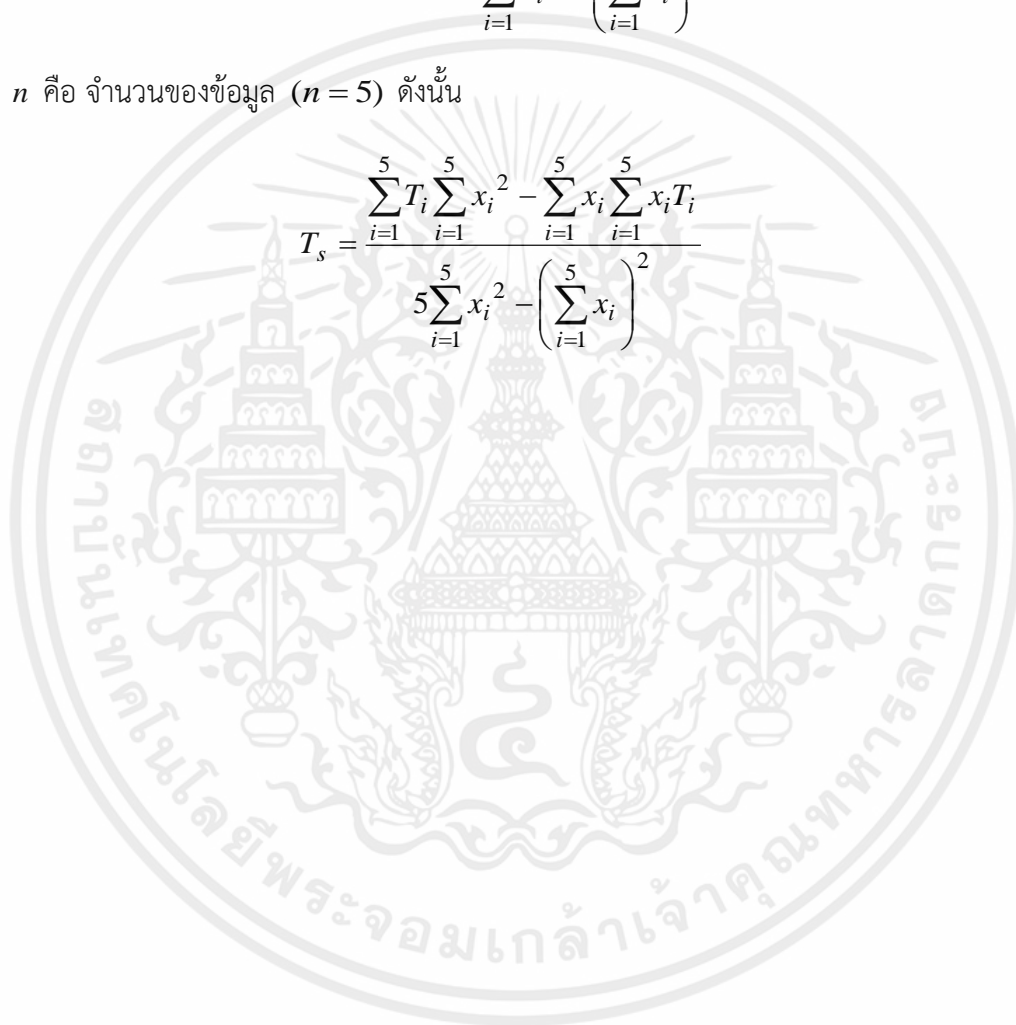
$$T_i = a + bx_i$$

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก. ค

ข้อมูลการทดลอง

ตารางผนวก ค ที่ 1 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนของ น้ำกลั่น ระหว่างการเดือดแบบพูลเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน

DCV (V)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T _{sat} (°C)	T _s (°C)	A (m ²)	T _s - T _{sat}
143.2	132.6	138.6	146.7	153.7	100	130.50	0.0007069	30.5
135.2	130.5	136.2	143.6	149.8	100	128.69	0.0007069	28.7
128.7	128.4	133.4	140.2	145.9	100	126.68	0.0007069	26.7
120.8	125.5	130.2	136.3	141.3	100	124.04	0.0007069	24.0
112.6	123.2	126.9	132.2	136.6	100	121.82	0.0007069	21.8
104.3	121.1	124.2	128.8	132.6	100	119.88	0.0007069	19.9
93.6	118.8	121.3	124.9	128.1	100	117.80	0.0007069	17.8
82.7	116.2	118.2	121.1	123.5	100	115.44	0.0007069	15.4
71.8	113.2	114.7	116.8	118.7	100	112.62	0.0007069	12.6
55.0	109.9	109.7	110.9	110.1	100	109.84	0.0007069	9.8

ตารางผนวก ค ที่ 2 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อน ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 25 เปอร์เซ็นต์ระหว่างการเดือดแบบพูลเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน

DCV (V)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T _{sat} (°C)	T _s (°C)	A (m ²)	T _s - T _{sat}
142.2	128.6	134.2	142.1	149.1	90.00	126.44	0.000706858	36.4
135.8	127.4	132.6	140.3	146.6	90.00	125.38	0.000706858	35.4
128.2	125.4	129.6	136.4	142.2	90.00	123.45	0.000706858	33.5
120.7	122.8	126	132.3	137.4	90.00	120.90	0.000706858	30.9
112.2	120.2	123.1	128.4	132.9	90.00	118.60	0.000706858	28.6
104.4	118.2	120.3	125.1	129.1	90.00	116.64	0.000706858	26.6
93.6	115.2	117.1	120.9	123.9	90.00	114.07	0.000706858	24.1
82.6	111.9	113.9	116.7	119.1	90.00	111.16	0.000706858	21.2
71.5	109.1	113.6	116.7	119.1	90.00	108.91	0.000706858	18.9
55.6	104.4	105.2	106.5	107.6	90.00	104.03	0.000706858	14.0

ตารางผนวก ค ที่ 3 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อน ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์ระหว่างการเดือดแบบพุดเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน

DCV (V)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T _{sat} (°C)	T _s (°C)	A (m ²)	T _s - T _{sat}
142.2	120.1	124.9	132.1	140.1	81.00	117.60	0.000706858	36.6
135.2	117.3	122.4	129.8	136.2	81.00	115.29	0.000706858	34.3
128.2	114.5	119.1	126.1	131.1	81.00	112.83	0.000706858	31.8
121.2	111.9	116.1	122.3	127.6	81.00	110.21	0.000706858	29.2
112.2	108.8	112.5	117.9	122.4	81.00	107.37	0.000706858	26.4
103.8	106.5	109.9	114.3	118.3	81.00	105.34	0.000706858	24.3
93.2	103.3	106.1	109.9	113.1	81.00	102.33	0.000706858	21.3
81.8	100.1	102.9	105.2	107.5	81.00	99.68	0.000706858	18.7
71.0	97.6	99.3	101.3	103.2	81.00	97.09	0.000706858	16.1
54.8	95.7	96.4	97.7	98.8	81.00	95.31	0.000706858	14.3

ตารางผนวก ค ที่ 4 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อน ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ระหว่างการเดือดแบบพุดเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน

DCV (V)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T _{sat} (°C)	T _s (°C)	A (m ²)	T _s - T _{sat}
142.6	127.1	132.5	140.6	147.5	78.00	124.88	0.000706858	46.9
135.8	125.4	130.6	138.1	144.5	78.00	123.39	0.000706858	45.4
128.0	123.6	128.5	135.4	141.1	78.00	121.83	0.000706858	43.8
122.6	121.5	126.3	132.6	137.9	78.00	119.94	0.000706858	41.9
112.4	118.3	122.2	127.5	132.1	78.00	116.91	0.000706858	38.9
103.8	115.3	118.7	123.1	127.1	78.00	114.14	0.000706858	36.1
93.2	112.1	114.7	118.4	121.5	78.00	111.13	0.000706858	33.1
81.4	108.4	110.7	113.7	116.2	78.00	107.67	0.000706858	29.7
71.4	103.9	105.1	107.4	109.2	78.00	103.23	0.000706858	25.2
54.9	96.4	97.1	98.5	99.6	78.00	95.99	0.000706858	18.0

ตารางผนวก ค ที่ 5 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 25 เปอร์เซ็นต์

DCV (V)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T _{sat} (°C)	T _s (°C)	A (m ²)	T _s - T _{sat}
142.8	129.2	134.7	142.5	149.5	91.00	127.04	0.000706858	36.0
135.5	125.9	131.1	138.4	144.7	91.00	123.96	0.000706858	33.0
128.8	123.2	128.2	134.9	140.7	91.00	121.47	0.000706858	30.5
120.6	120.1	124.7	130.7	135.7	91.00	118.63	0.000706858	27.6
112.3	117.5	121.5	126.8	131.1	91.00	116.22	0.000706858	25.2
104.8	115.1	118.3	123.1	126.8	91.00	113.89	0.000706858	22.9
93.2	111.4	113.9	117.9	120.8	91.00	110.41	0.000706858	19.4
82.2	108.1	110.1	113.2	115.5	91.00	107.33	0.000706858	16.3
71.3	105.1	106.1	108.4	110.1	91.00	104.41	0.000706858	13.4
55.4	101.2	101.8	103.5	104.4	91.00	100.76	0.000706858	9.8

ตารางผนวก ค ที่ 6 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์

DCV (V)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T _{sat} (°C)	T _s (°C)	A (m ²)	T _s - T _{sat}
142.8	120.7	125.1	133.4	140.5	81.00	118.14	0.000706858	37.1
135.7	118.5	123.1	130.7	137.2	81.00	116.30	0.000706858	35.3
129.0	115.9	120.1	127.2	133.2	81.00	113.84	0.000706858	32.8
120.9	112.9	116.8	123.1	128.2	81.00	111.17	0.000706858	30.2
112.7	110.1	113.3	118.9	123.5	81.00	108.48	0.000706858	27.5
104.4	107.2	110.3	115.1	119.1	81.00	105.89	0.000706858	24.9
92.6	103.7	105.8	109.9	113.1	81.00	102.50	0.000706858	21.5
83.0	101.1	102.6	105.8	108.2	81.00	100.16	0.000706858	19.2
71.5	98.4	99.5	101.9	103.7	81.00	97.69	0.000706858	16.7
55.7	95.9	96.3	98.1	99.1	81.00	95.36	0.000706858	14.4

ตารางผนวก ค ที่ 7 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์

DCV (V)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T _{sat} (°C)	T _s (°C)	A (m ²)	T _s - T _{sat}
140.6	120.7	124.4	132.2	138.9	78.00	118.18	0.000706858	40.2
135.9	120.3	123.8	131.3	137.7	78.00	117.88	0.000706858	39.9
128.6	118.4	122.1	128.8	134.7	78.00	116.32	0.000706858	38.3
120.9	116.2	119.8	125.7	130.9	78.00	114.45	0.000706858	36.5
113.0	114.1	117.3	122.5	127.1	78.00	112.56	0.000706858	34.6
105.2	111.9	114.7	119.2	123.2	78.00	110.57	0.000706858	32.6
92.6	108.5	110.7	114.2	117.5	78.00	107.42	0.000706858	29.4
83.0	105.4	107.2	110.1	112.5	78.00	104.59	0.000706858	26.6
71.8	102.1	103.5	105.5	107.4	78.00	101.51	0.000706858	23.5
55.6	98.1	98.7	99.7	101.1	78.00	97.66	0.000706858	19.7

ตารางผนวก ค ที่ 8 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 25 เปอร์เซ็นต์

DCV (V)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T _{sat} (°C)	T _s (°C)	A (m ²)	T _s - T _{sat}
142.6	128.3	133.1	140.8	147.8	91.00	125.99	0.000706858	35.0
135.9	126.5	131.1	138.3	144.7	91.00	124.40	0.000706858	33.4
128.6	124.1	128.5	135.1	140.9	91.00	122.24	0.000706858	31.2
121.6	121.7	125.9	131.6	137.1	91.00	120.06	0.000706858	29.1
112.9	119.2	122.7	127.7	132.2	91.00	117.80	0.000706858	26.8
104.8	116.7	119.8	124.1	127.9	91.00	115.54	0.000706858	24.5
92.9	113.4	116.1	119.4	122.4	91.00	112.56	0.000706858	21.6
82.4	110.8	112.8	115.4	118.1	91.00	110.02	0.000706858	19.0
71.5	109.1	110.1	111.8	113.7	91.00	108.48	0.000706858	17.5
55.4	104.8	105.7	106.6	107.7	91.00	104.53	0.000706858	13.5

ตารางผนวก ค ที่ 9 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์

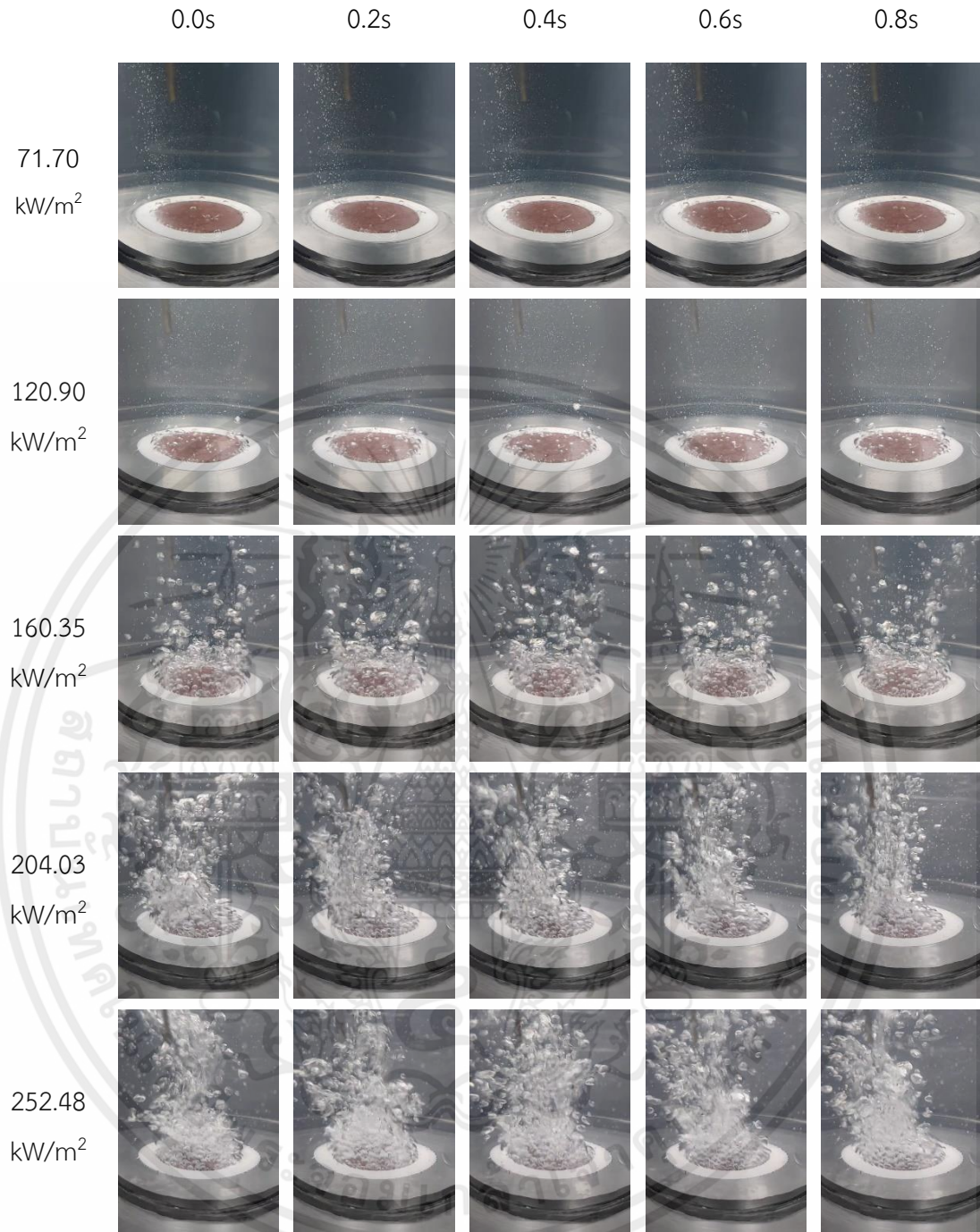
DCV (V)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T _{sat} (°C)	T _s (°C)	A (m ²)	T _s - T _{sat}
142.7	120.3	124.7	132.8	139.9	81.00	117.78	0.000706858	36.8
135.9	118.4	122.4	129.9	136.3	81.00	116.10	0.000706858	35.1
128.2	115.7	119.5	126.1	131.9	81.00	113.69	0.000706858	32.7
121.8	113.1	116.4	122.5	127.7	81.00	111.24	0.000706858	30.2
112.9	109.5	112.6	117.9	122.5	81.00	107.92	0.000706858	26.9
104.7	106.4	109.3	113.8	117.9	81.00	105.07	0.000706858	24.1
92.5	102.9	105.1	108.5	111.6	81.00	101.89	0.000706858	20.9
82.6	100.3	101.9	104.8	107.3	81.00	99.42	0.000706858	18.4
71.5	97.9	99.1	101.1	102.9	81.00	97.29	0.000706858	16.3
55.2	96.8	97.1	98.3	99.5	81.00	96.30	0.000706858	15.3

ตารางผนวก ค ที่ 10 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุนชนิด 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์

DCV (V)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T _{sat} (°C)	T _s (°C)	A (m ²)	T _s - T _{sat}
141.9	119.9	125.2	133.2	140.1	78.00	117.68	0.000706858	39.7
135.9	118.5	123.1	130.4	136.3	78.00	116.52	0.000706858	38.5
127.7	115.7	119.4	126.1	131.7	78.00	113.71	0.000706858	35.7
122.2	113.5	116.9	122.9	128.2	78.00	111.66	0.000706858	33.7
112.5	110.1	113.1	118.3	122.8	78.00	108.54	0.000706858	30.5
104.2	107.2	110.1	114.6	118.6	78.00	105.90	0.000706858	27.9
92.0	103.3	105.6	109.1	112.3	78.00	102.27	0.000706858	24.3
82.2	100.1	101.6	104.3	106.8	78.00	99.23	0.000706858	21.2
71.5	97.5	98.6	100.6	102.6	78.00	96.81	0.000706858	18.8
55.3	94.2	94.6	95.7	96.9	78.00	93.74	0.000706858	15.7

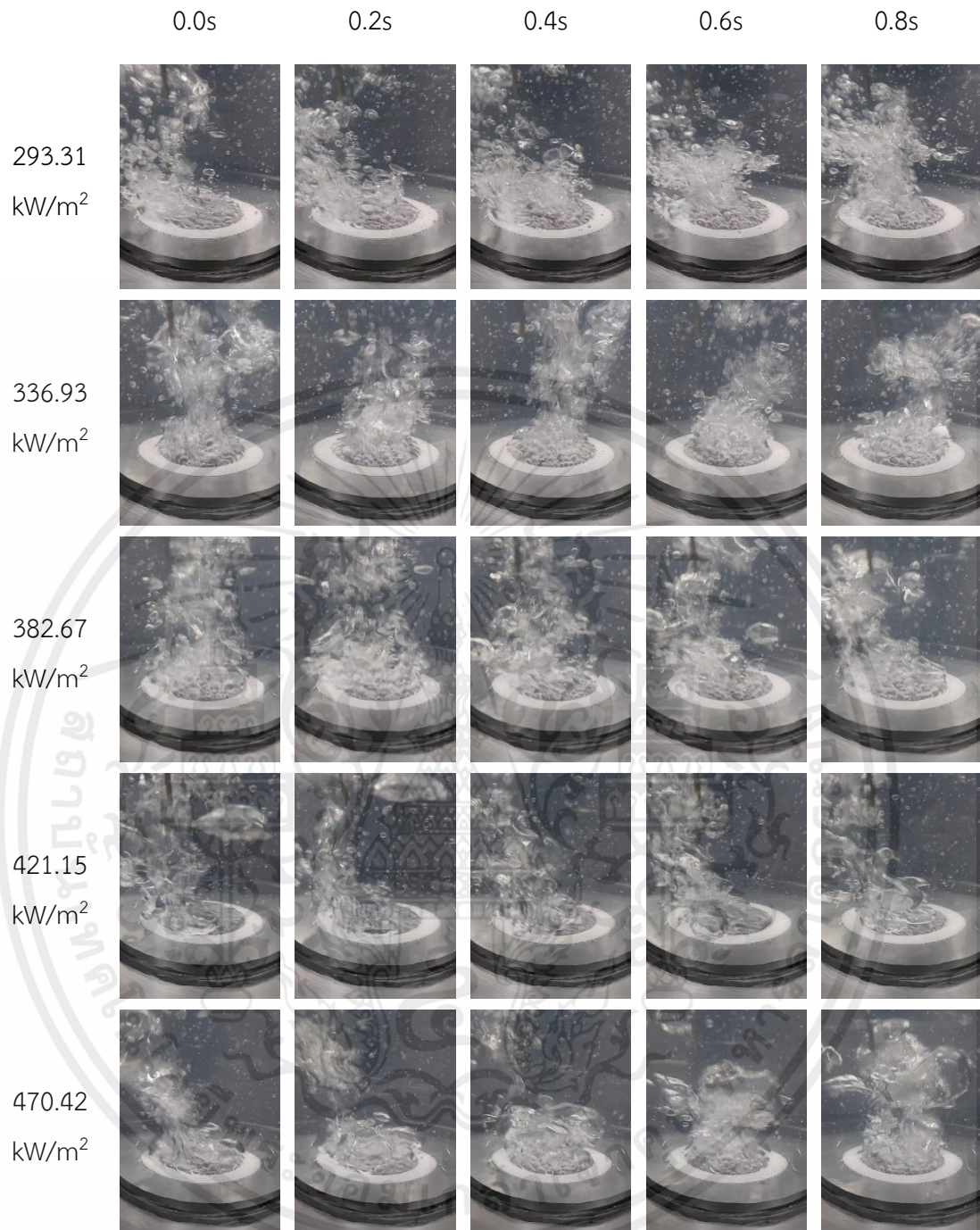


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

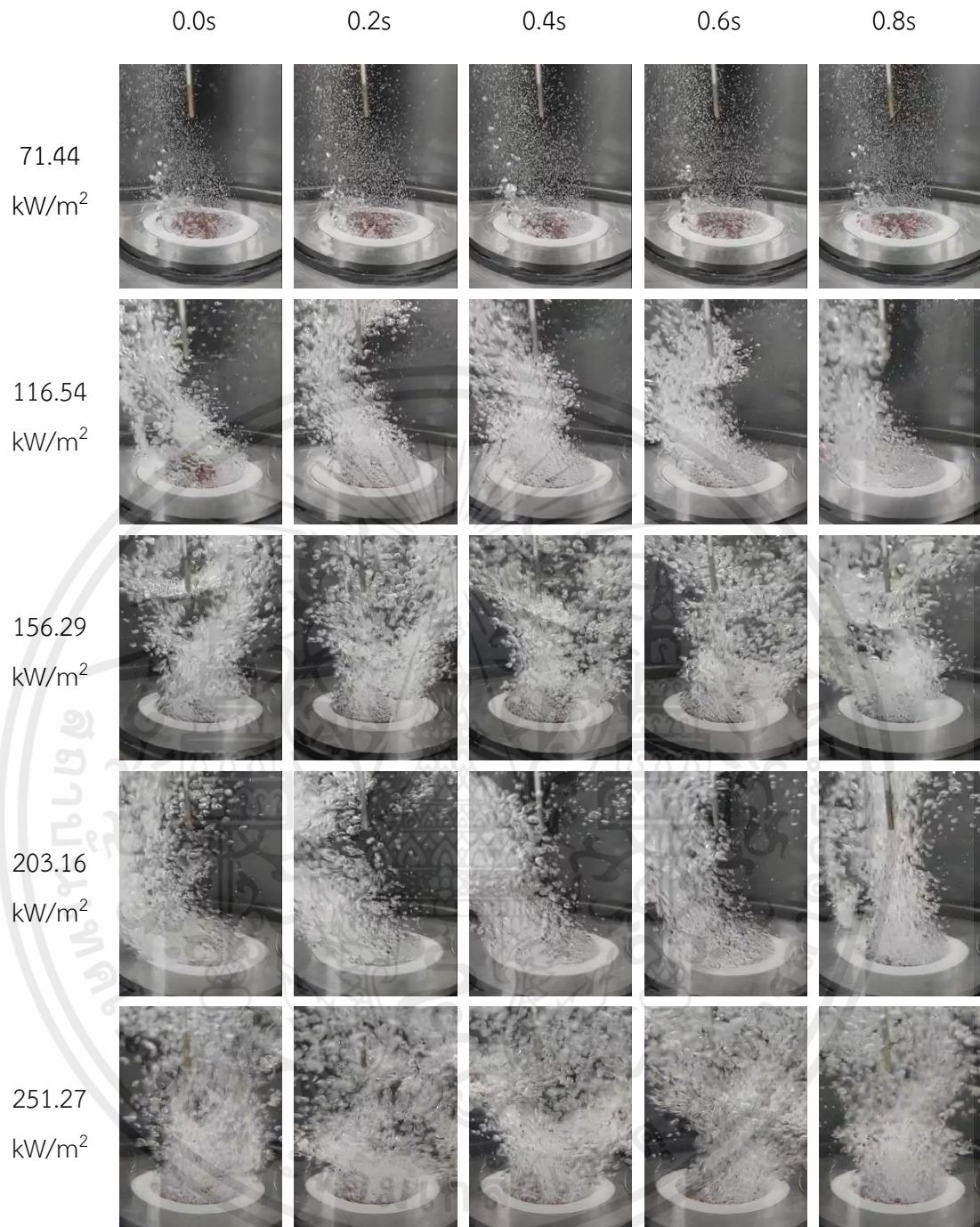


รูปผนวกที่ ง 1(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรากฏการณ์การเดือดที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

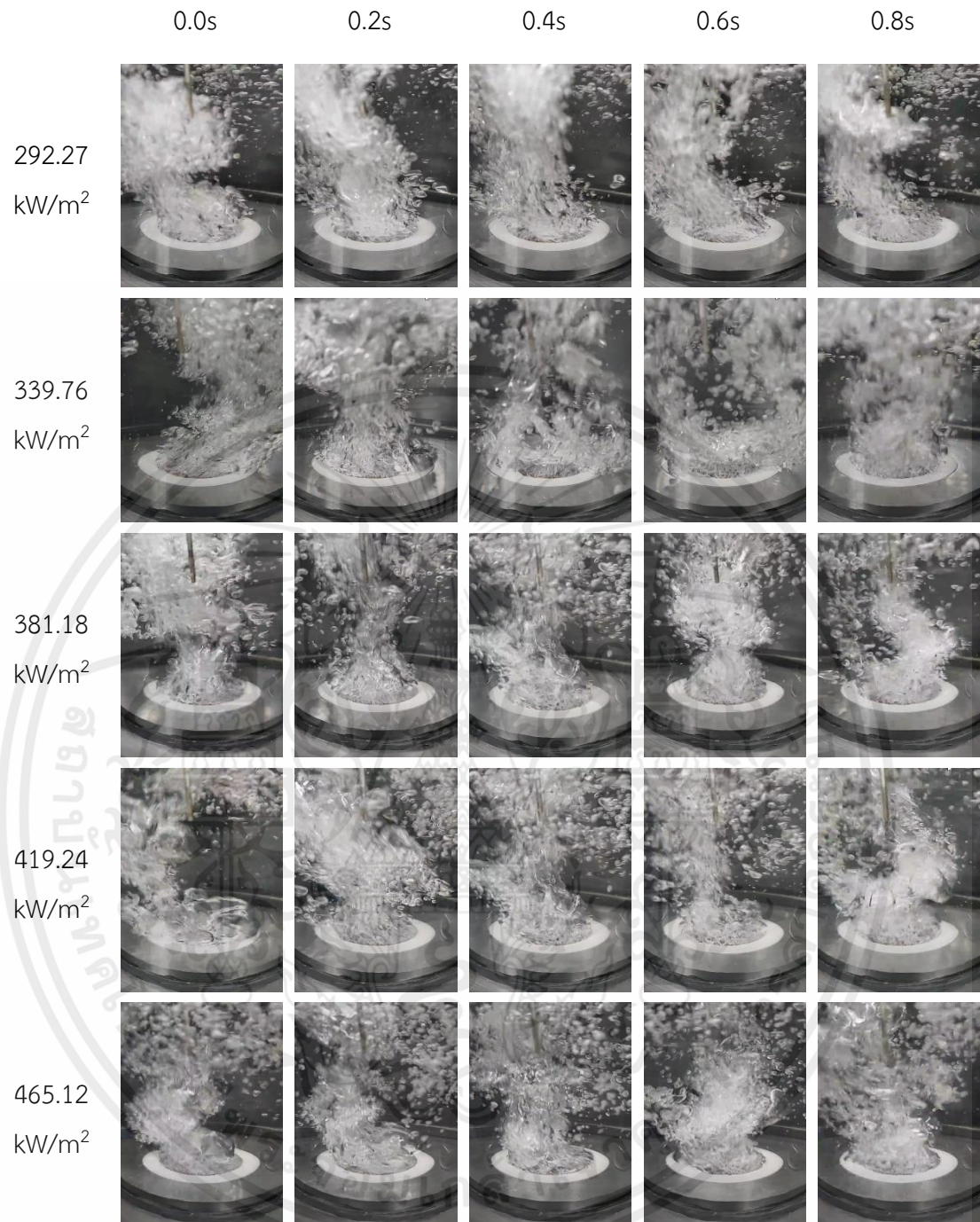
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปผนวกที่ ง 1(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรากฏการณ์การเดือดที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

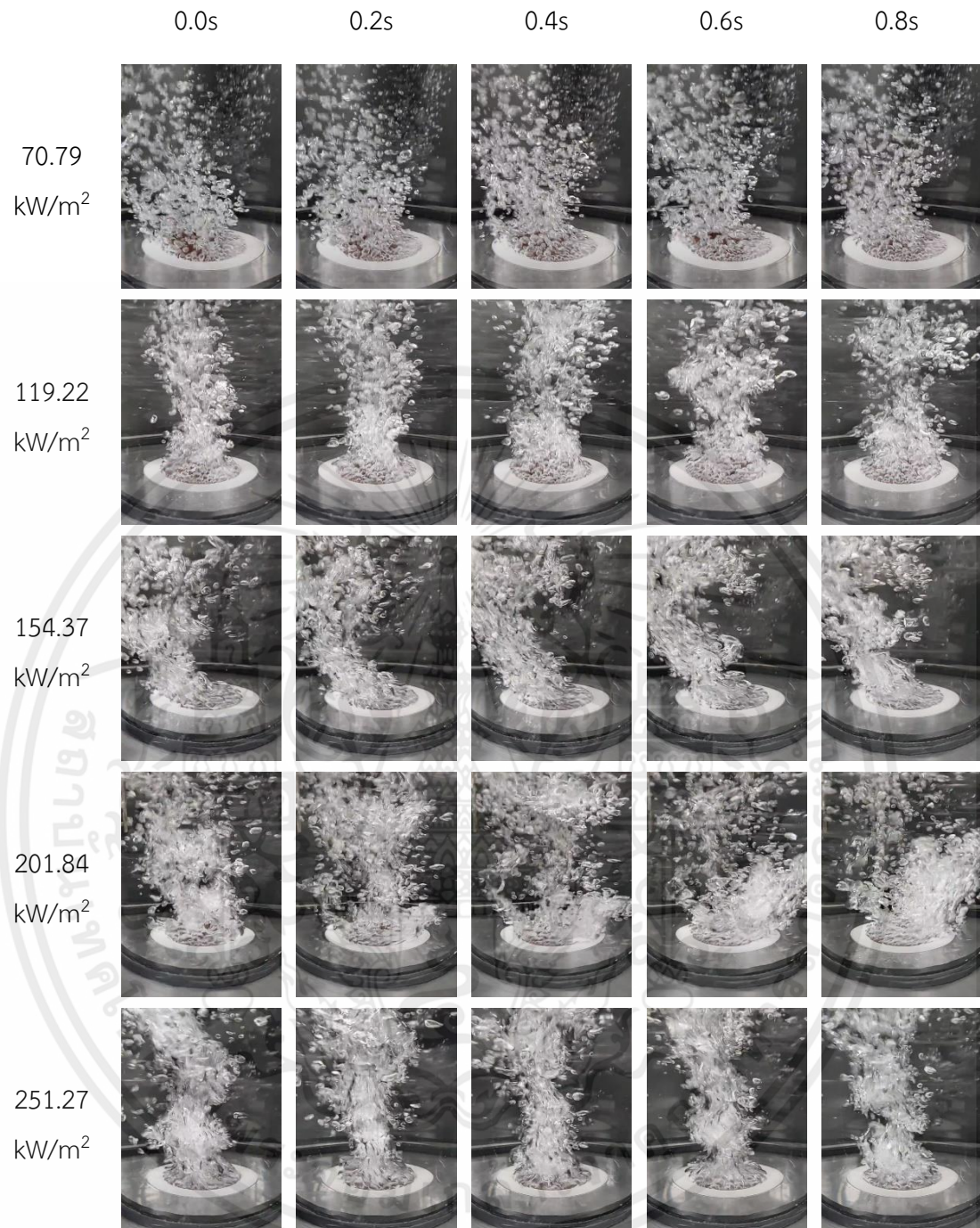


รูปผนวกที่ ง 2(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรากฏการณ์การเดือดที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน



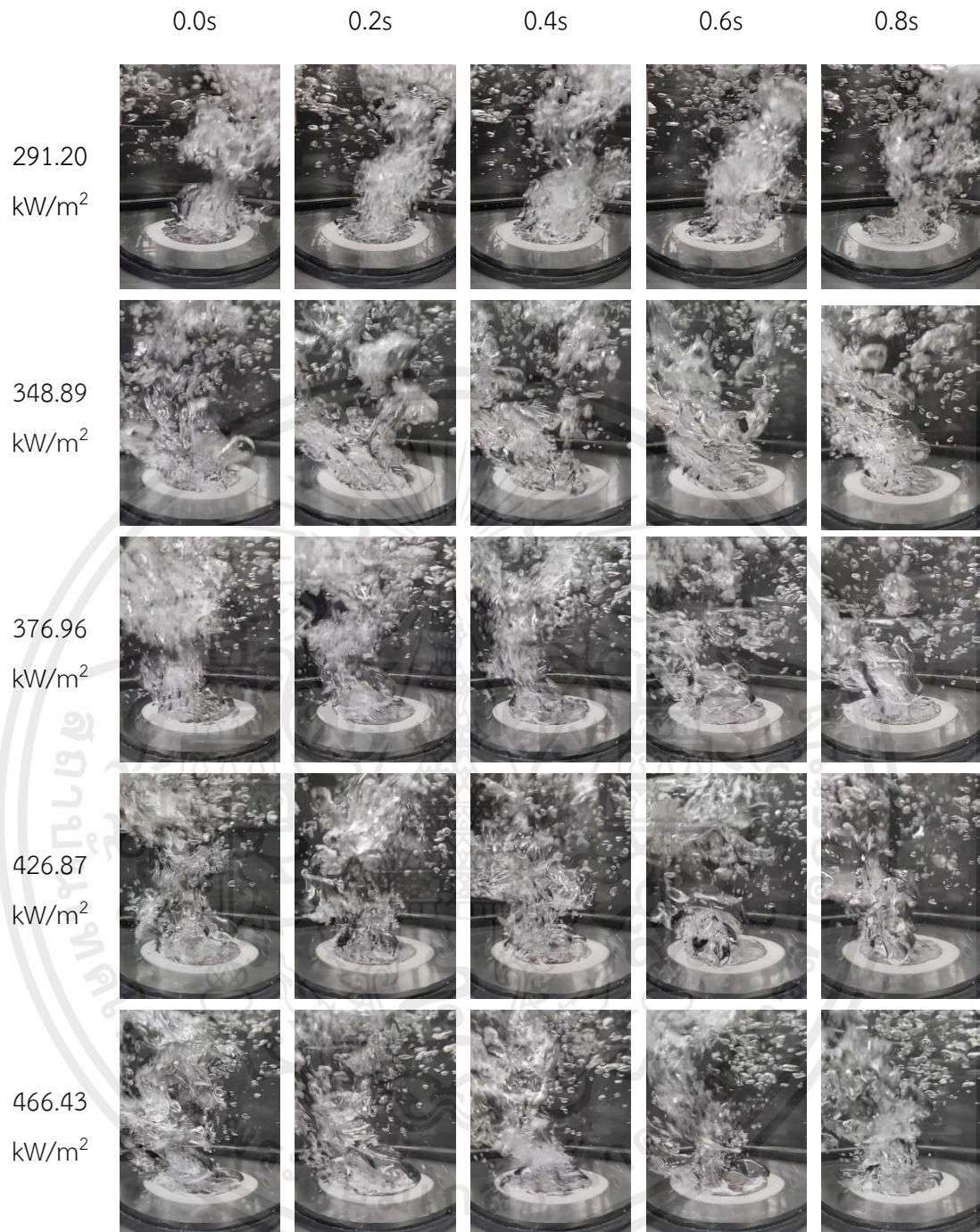
รูปผนวกที่ ง 2(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรากฏการณ์การเดือดที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปผนวกที่ ง 3(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรากฏการณ์การเดือดที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปผนวกที่ ง 3(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรากฏการณ์การเดือดที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

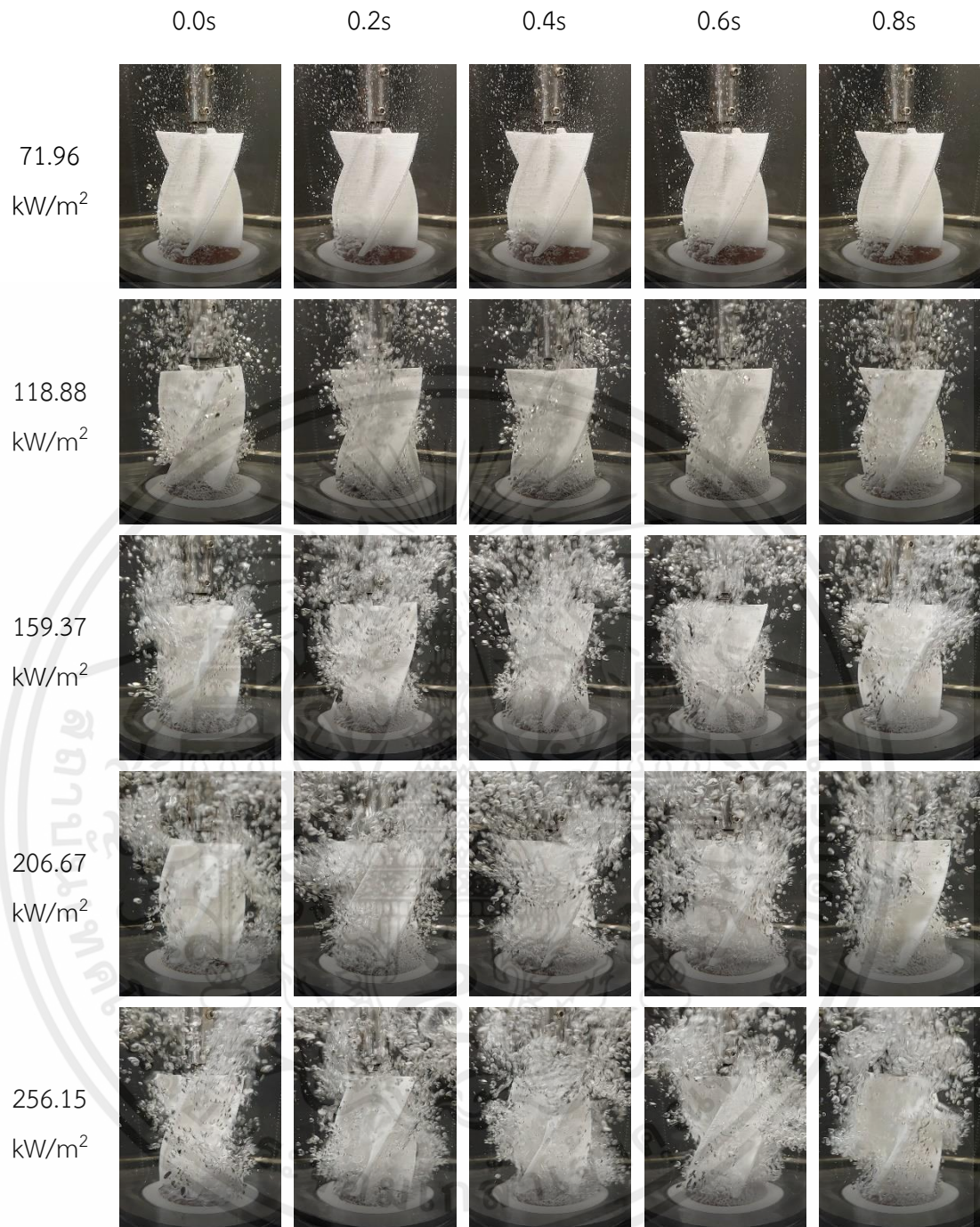


รูปผนวกที่ ง 4(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณ ความเข้มข้น ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร

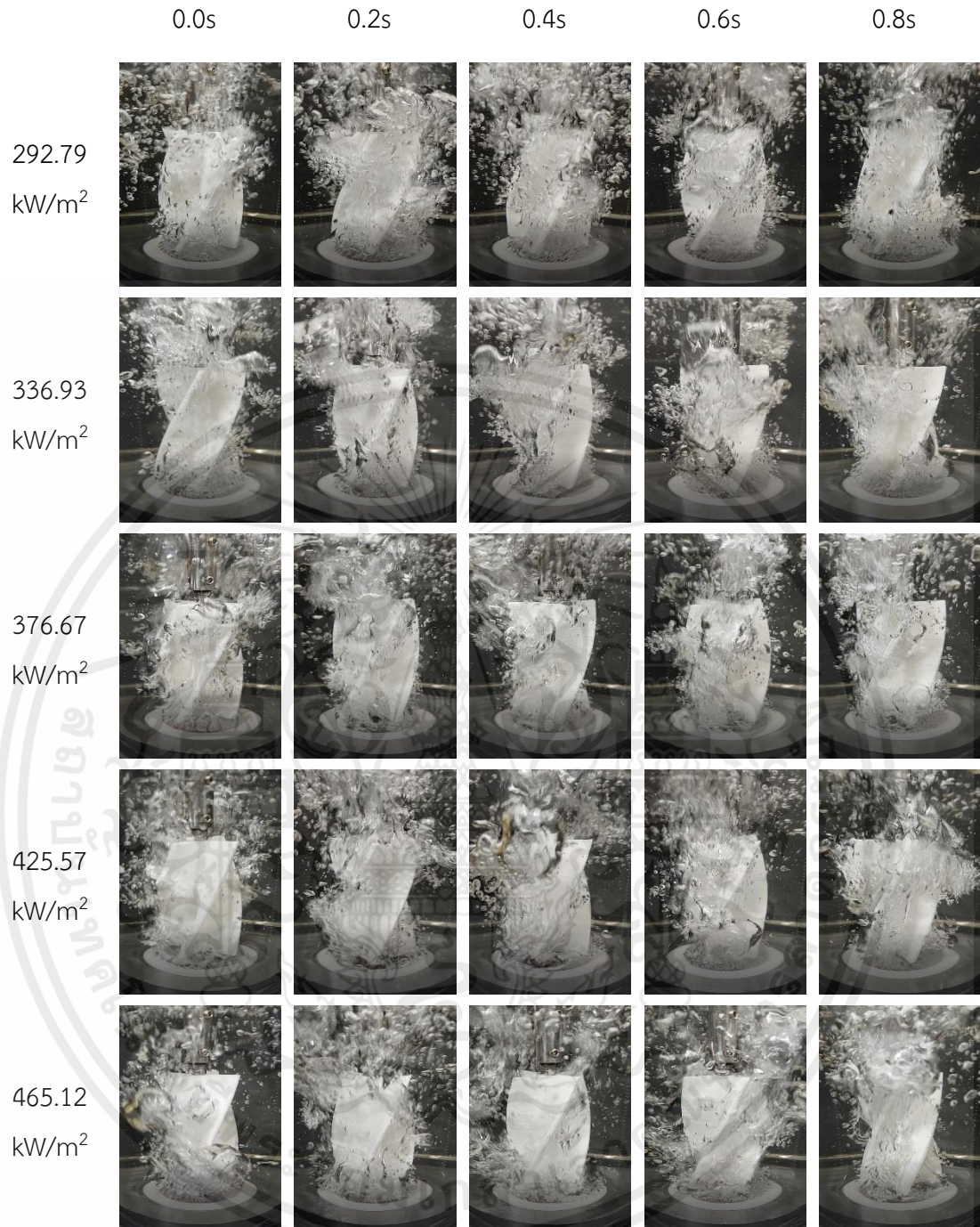


รูปผนวกที่ ง 4(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

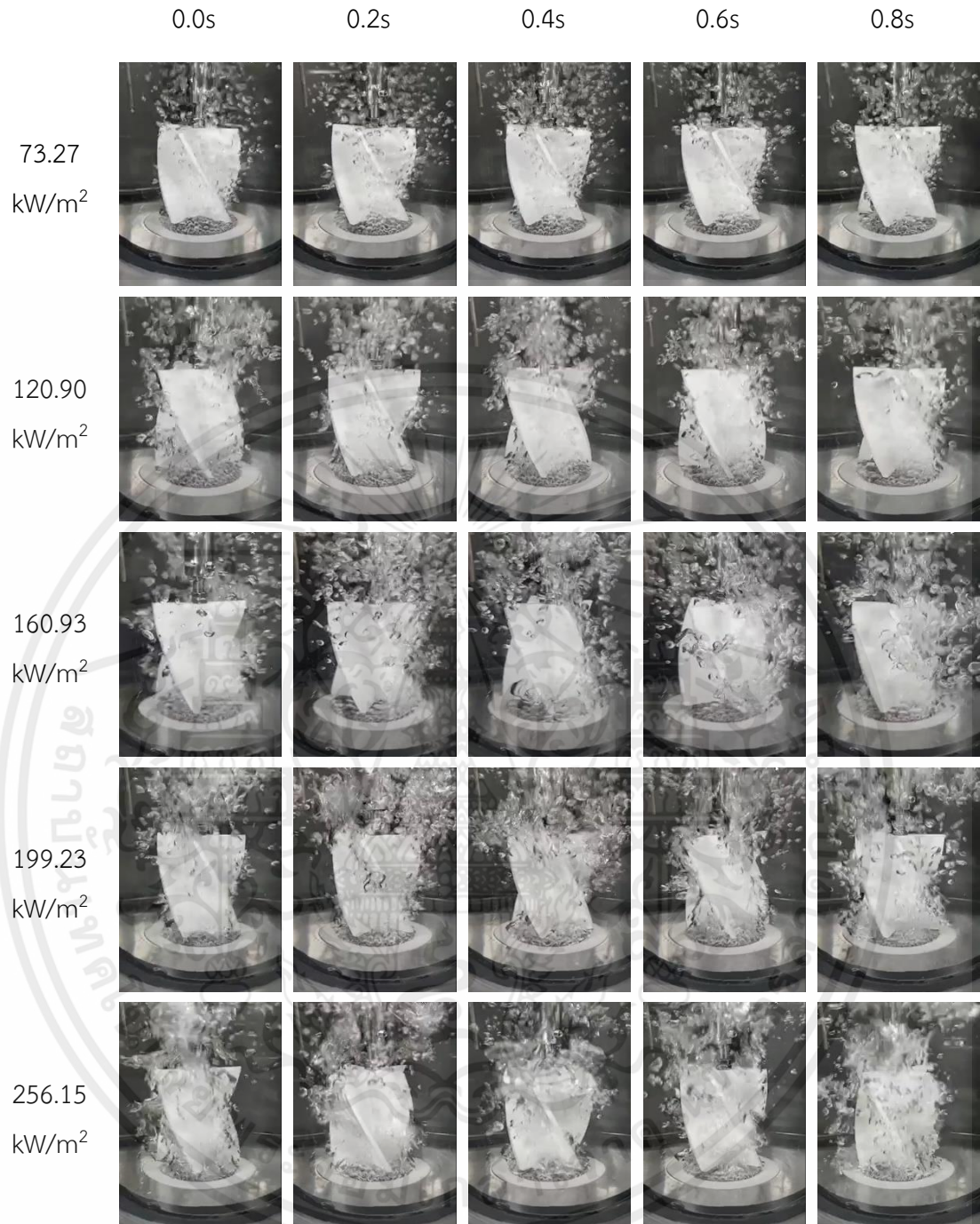


รูปผนวกที่ 5(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณ ความเข้มข้น ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร



รูปผนวกที่ ง 5(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปผนวกที่ 6(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณ ความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความ ร้อน 5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



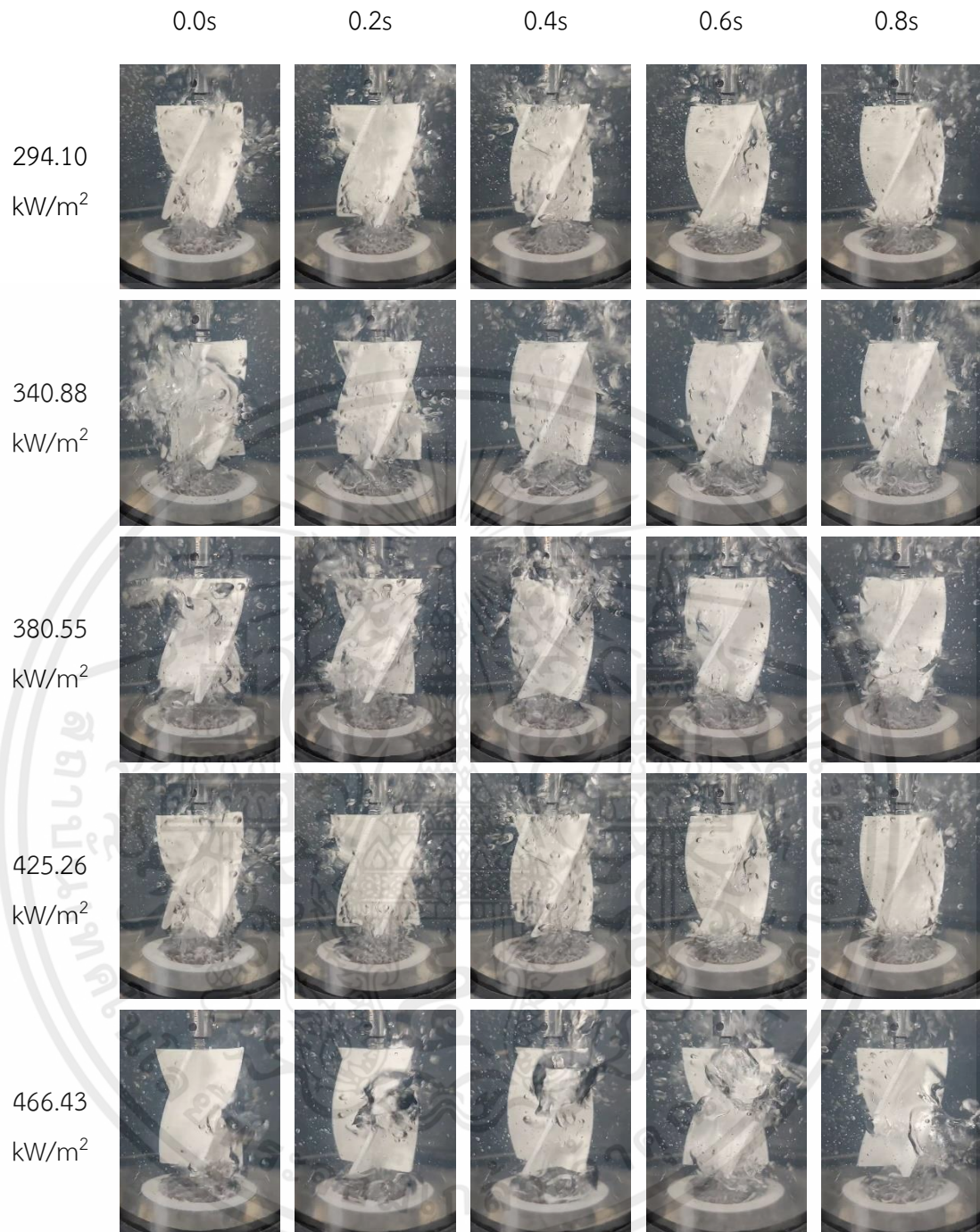
รูปผนวกที่ ง 6(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีป ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



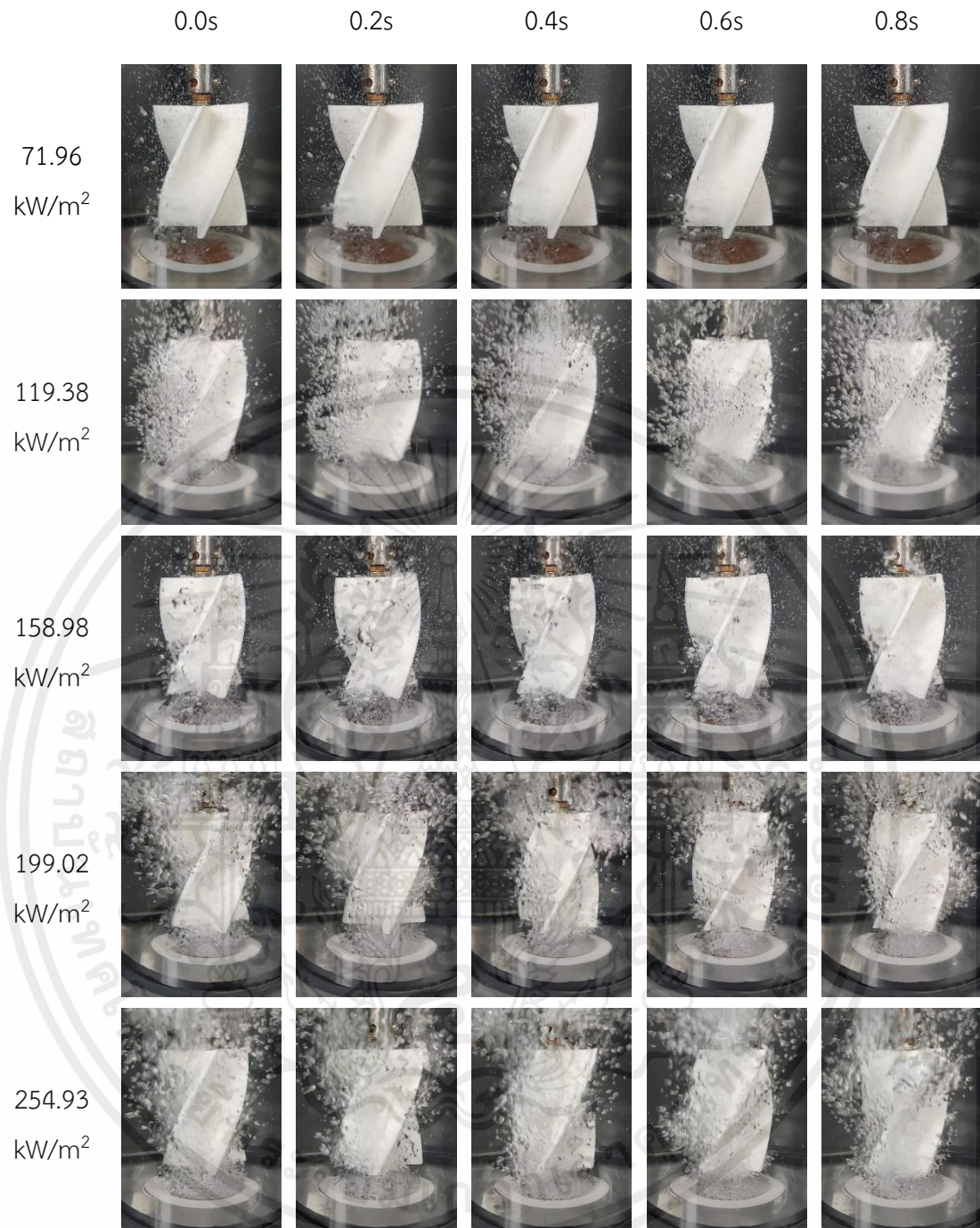
รูปผนวกที่ ง 7(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



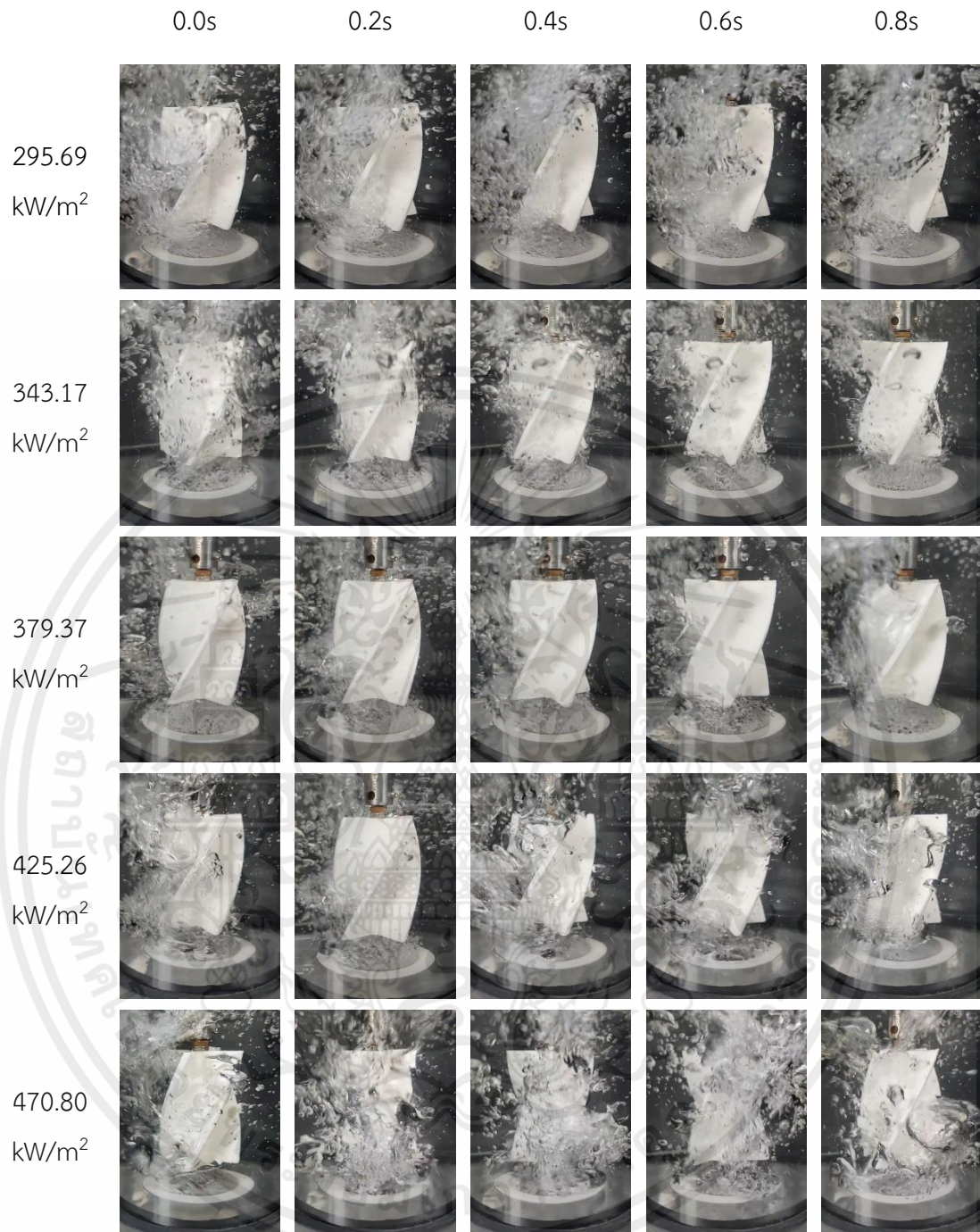
รูปผนวกที่ ง 7(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปผนวกที่ ง 8(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



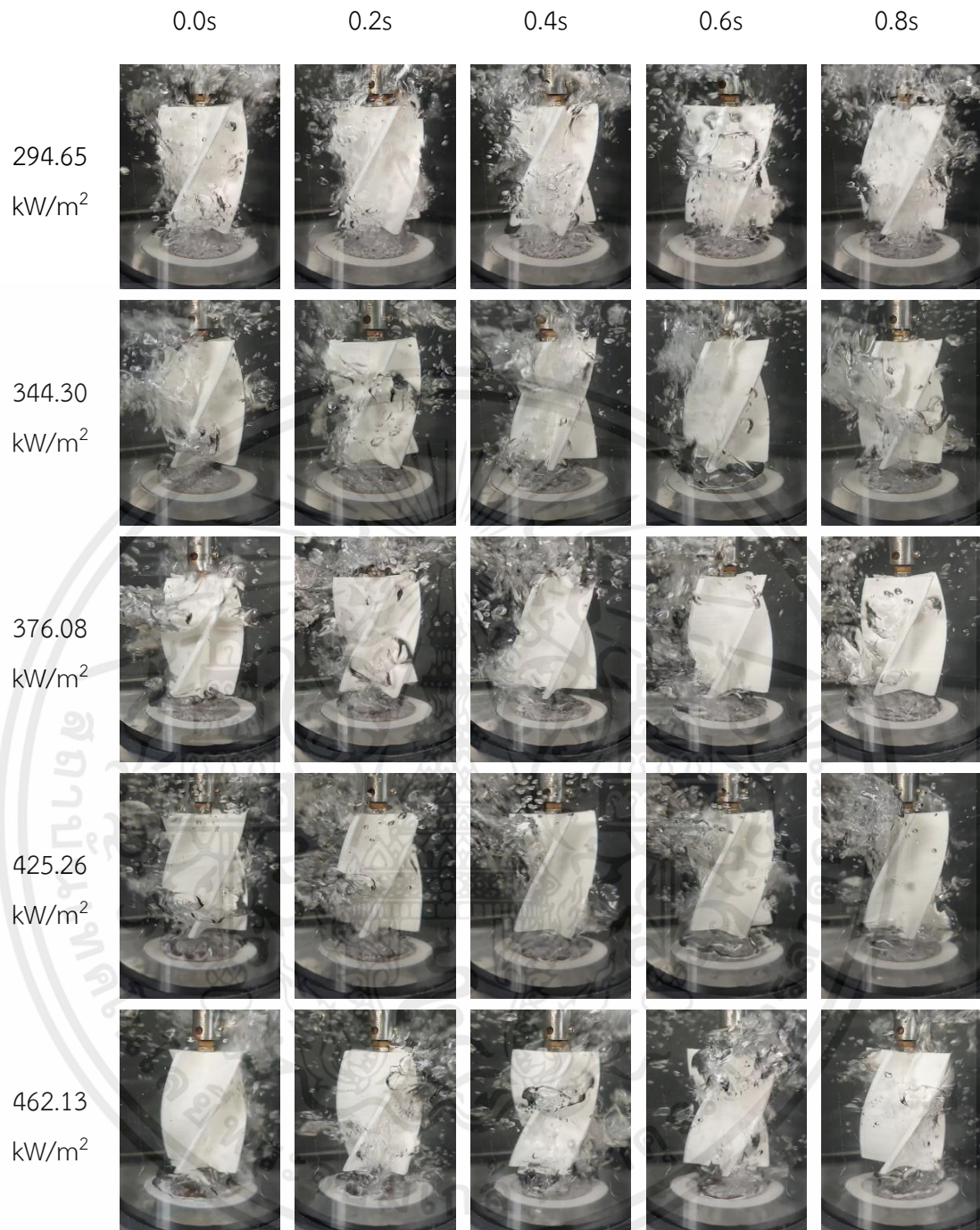
รูปผนวกที่ ง 8(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



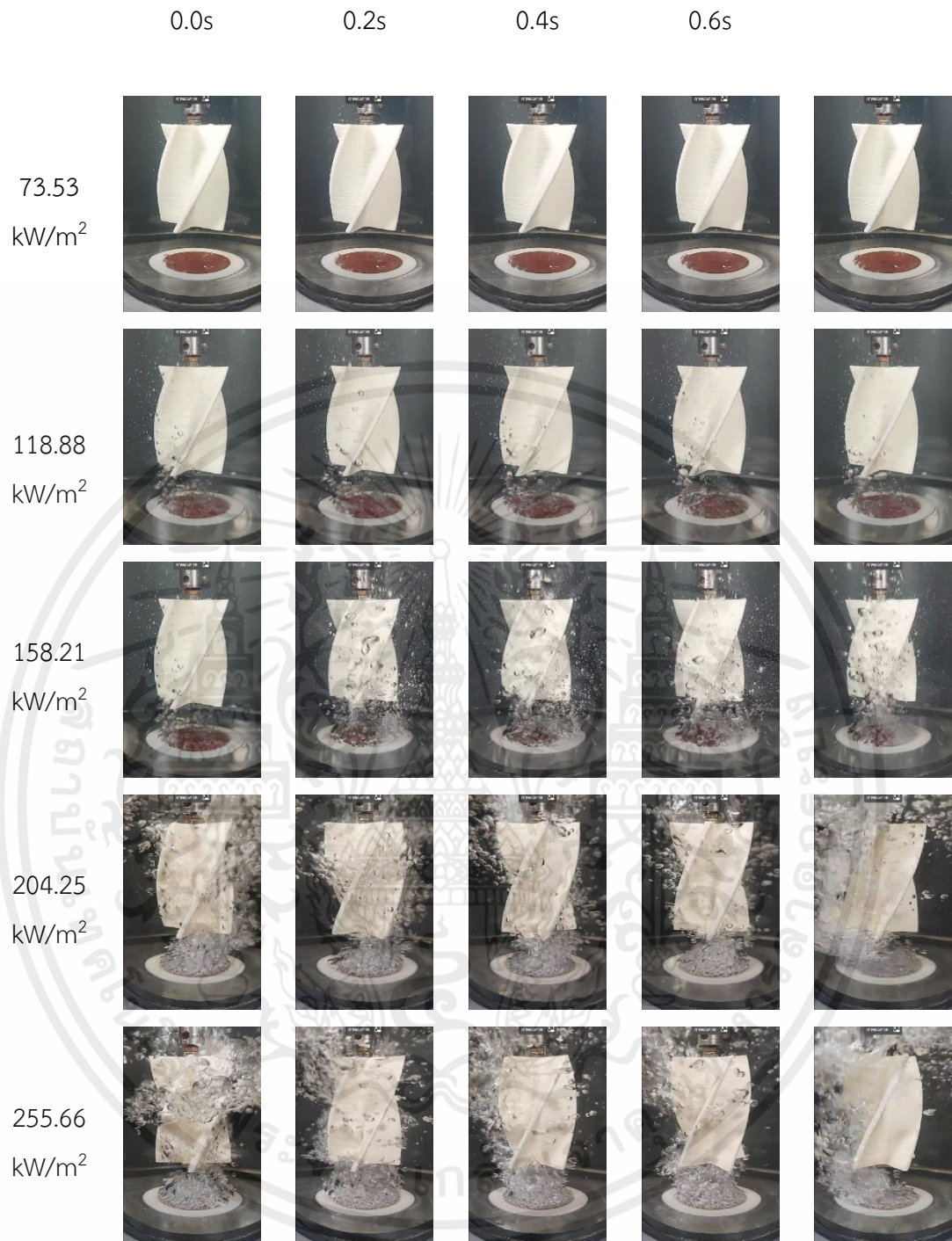
รูปผนวกที่ ง 9(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปผนวกที่ ง 9(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้น ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีป ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

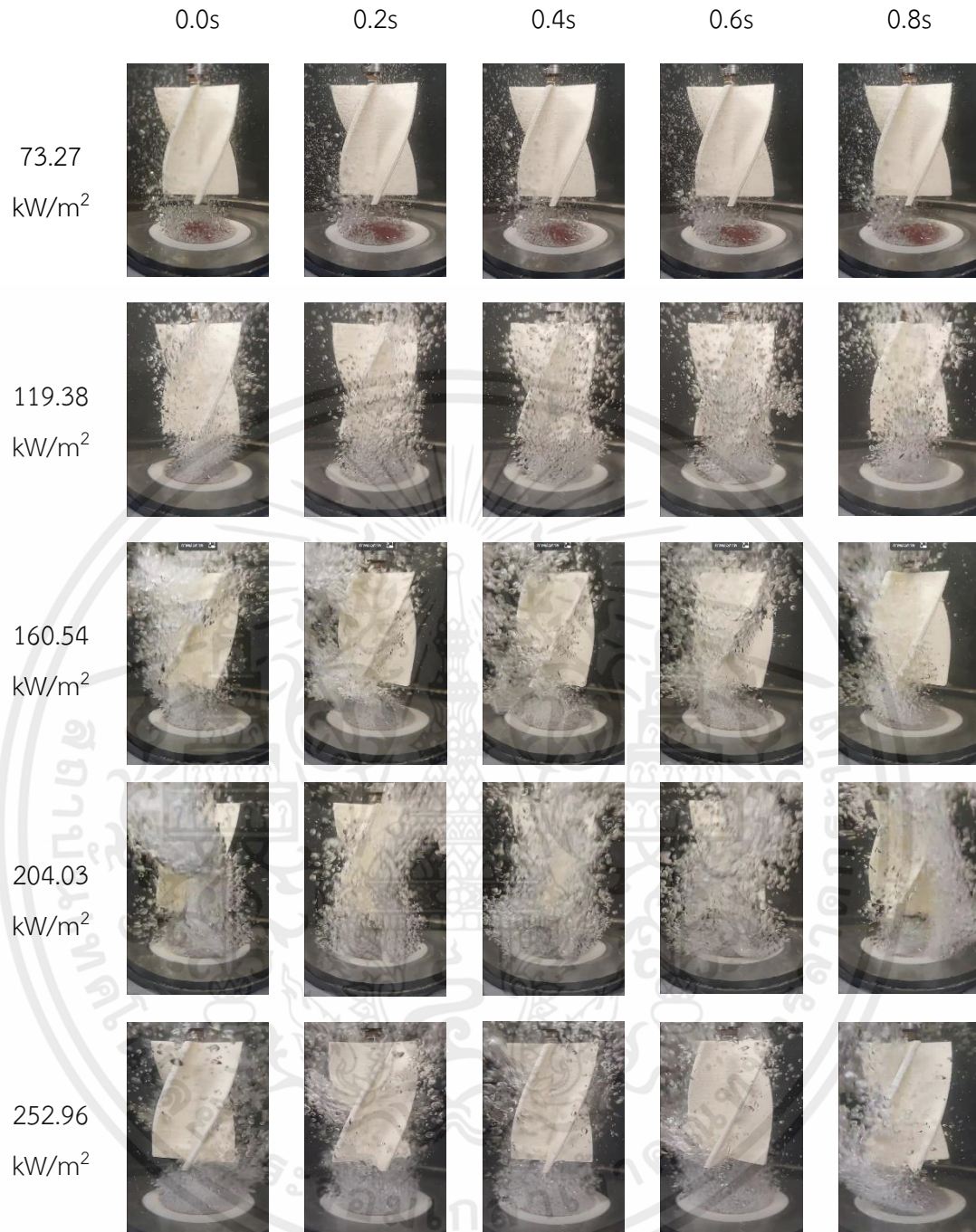


รูปผนวกที่ 10(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณ ความเข้มข้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร



รูปผนวกที่ ง 10(ข) ปรัชการณการเดอดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปรมาณความเข้มข้นที่ 25 เปอร์เซนต์ ที่ตดตั้งโบทมนวไวดเหนือพื้นผวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเสันผวนศุนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะท่างระหว่างโบทมนวกับพื้นผวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร

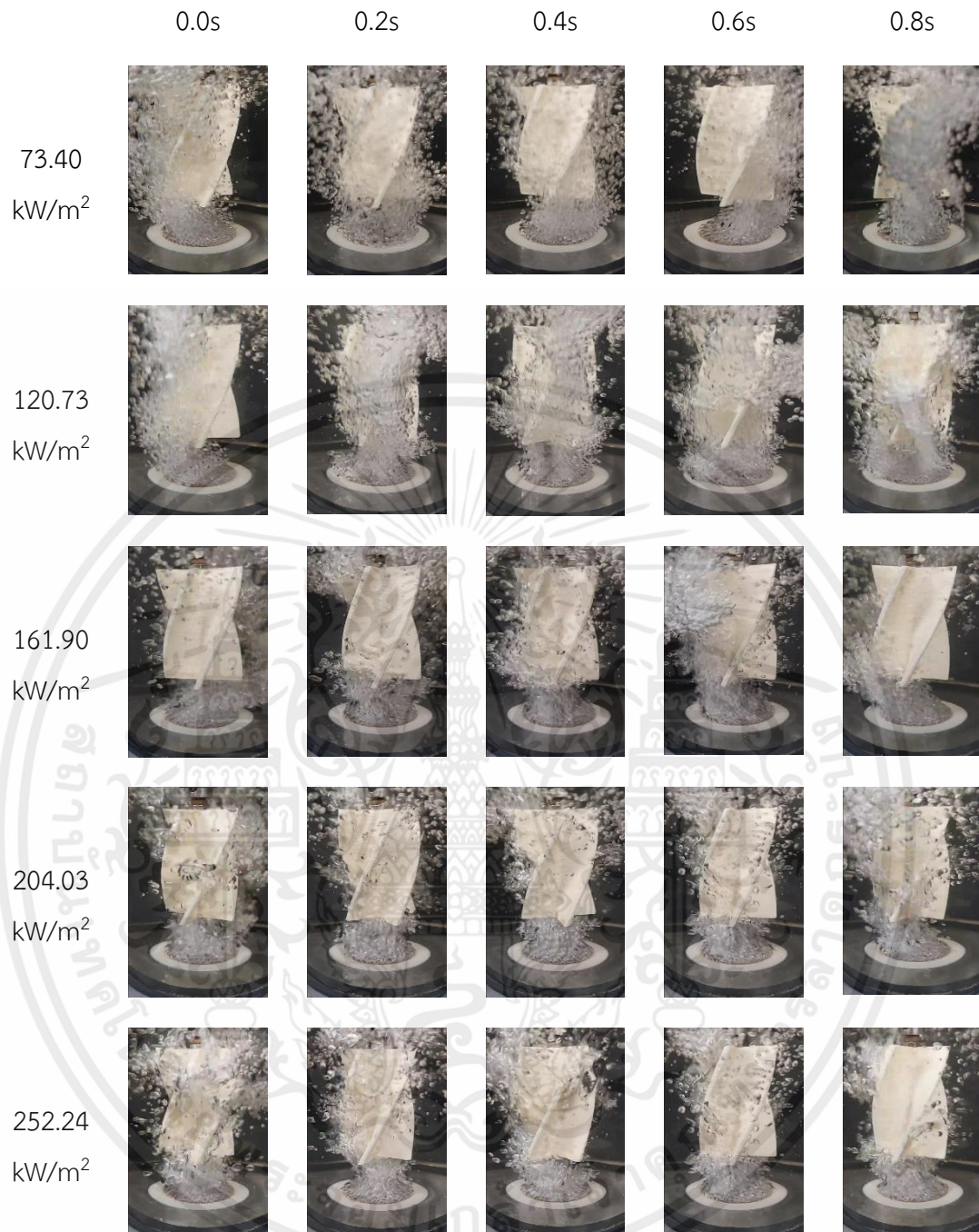
เอกสารน้เปันเอกสารที่สงวนไว้ สําหรับการใช้งานเพื่อกการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นําไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดกแปลงเนื้อหา และตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกการนําไปใช้



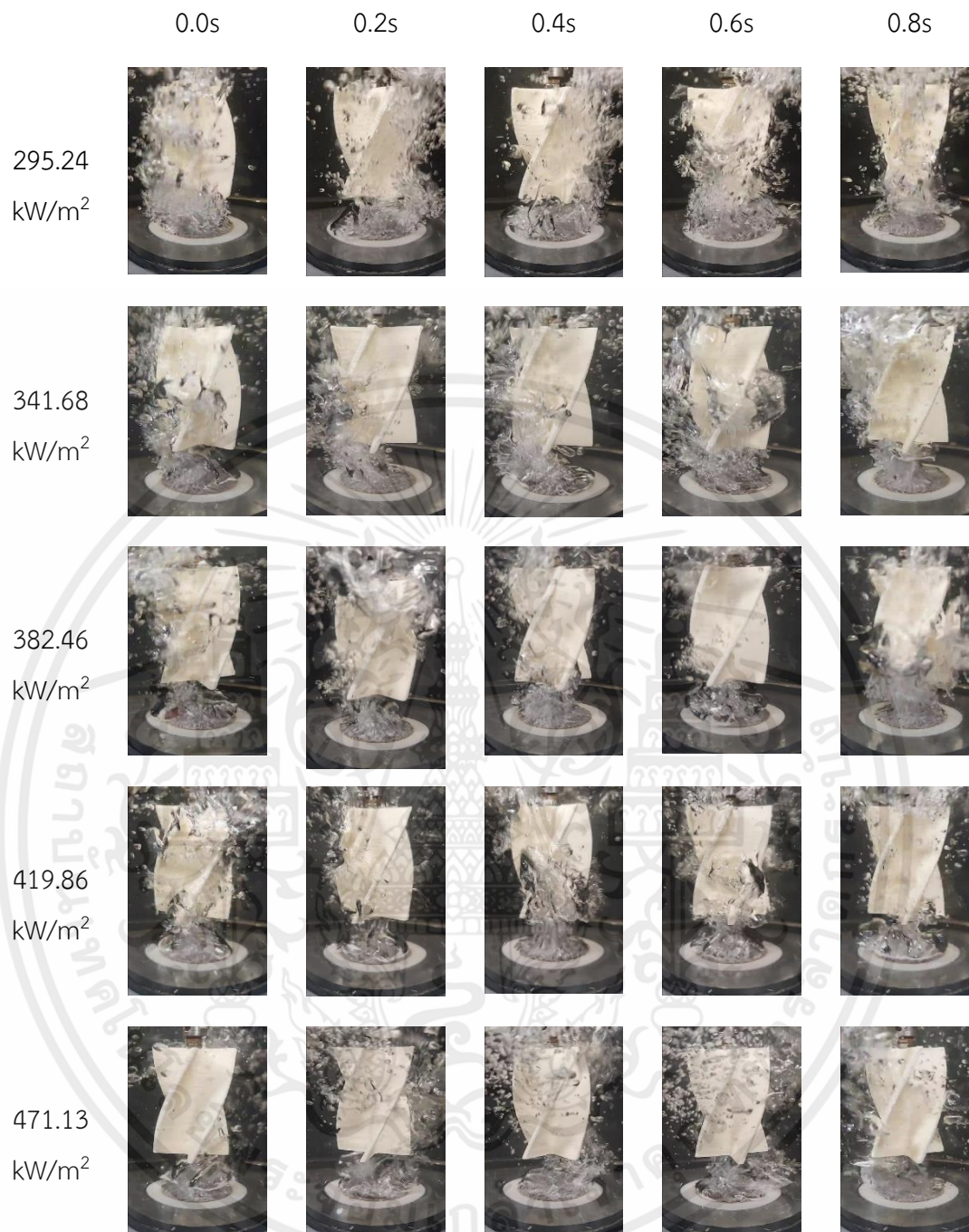
รูปผนวกที่ ง 11(ก) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร



รูปผนวกที่ ง 11(ข) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร



รูปผนวกที่ ง 12(ก) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร



รูปผนวกที่ ง 12(ข) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงาน ชนิด เอทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน 4 ครีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร

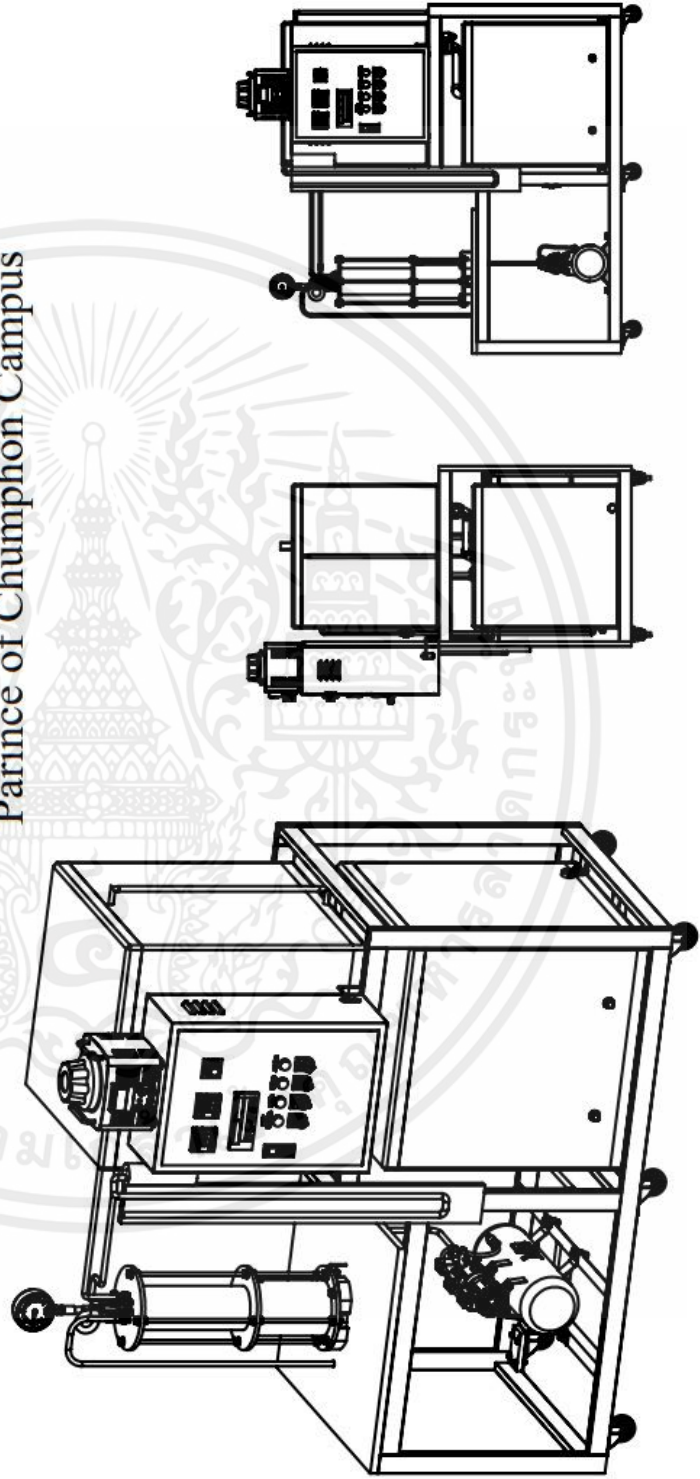


ภาคผนวก. จ
การออกแบบ

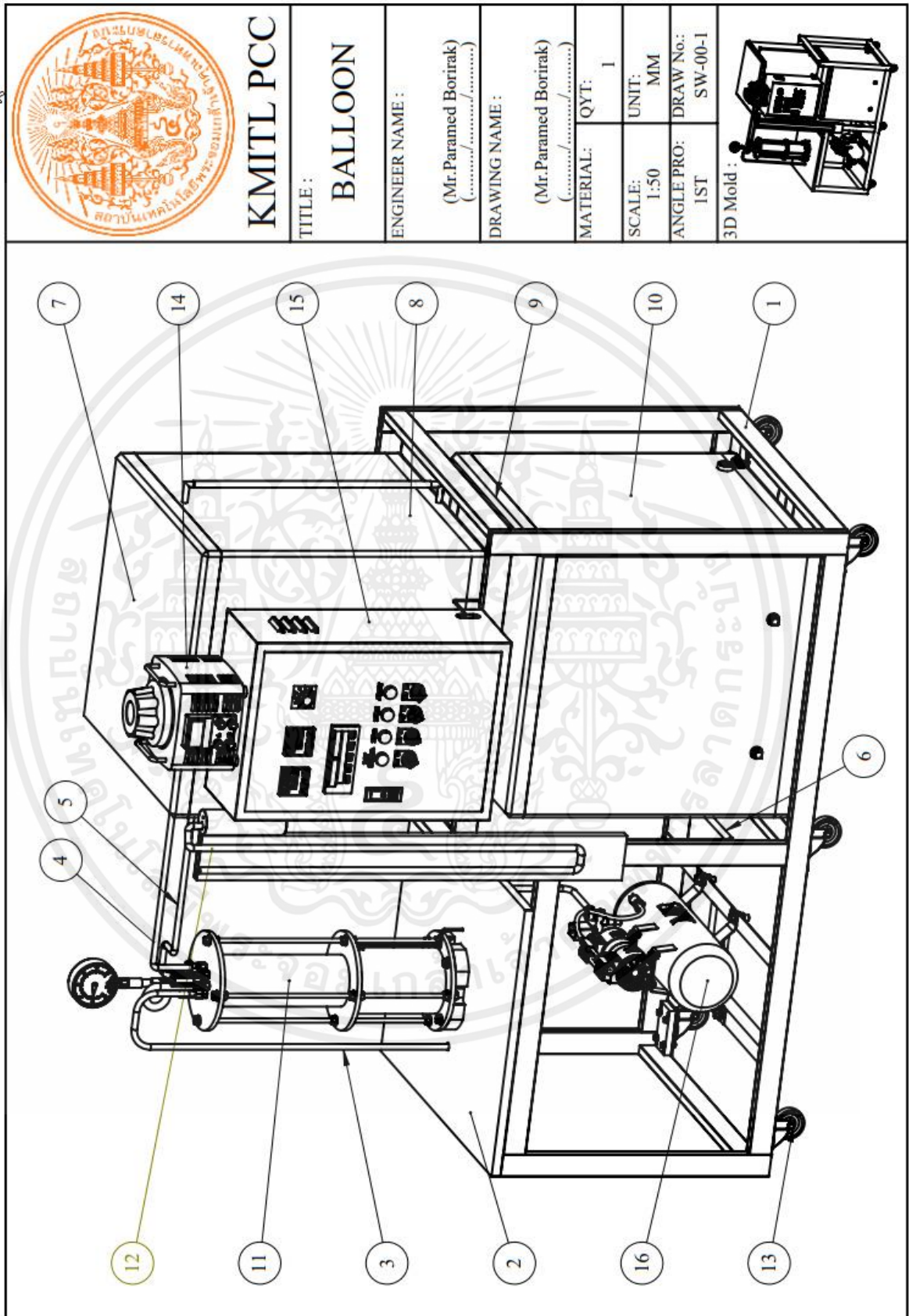
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pool boiling heat transfer enhancement of ethanol with passive

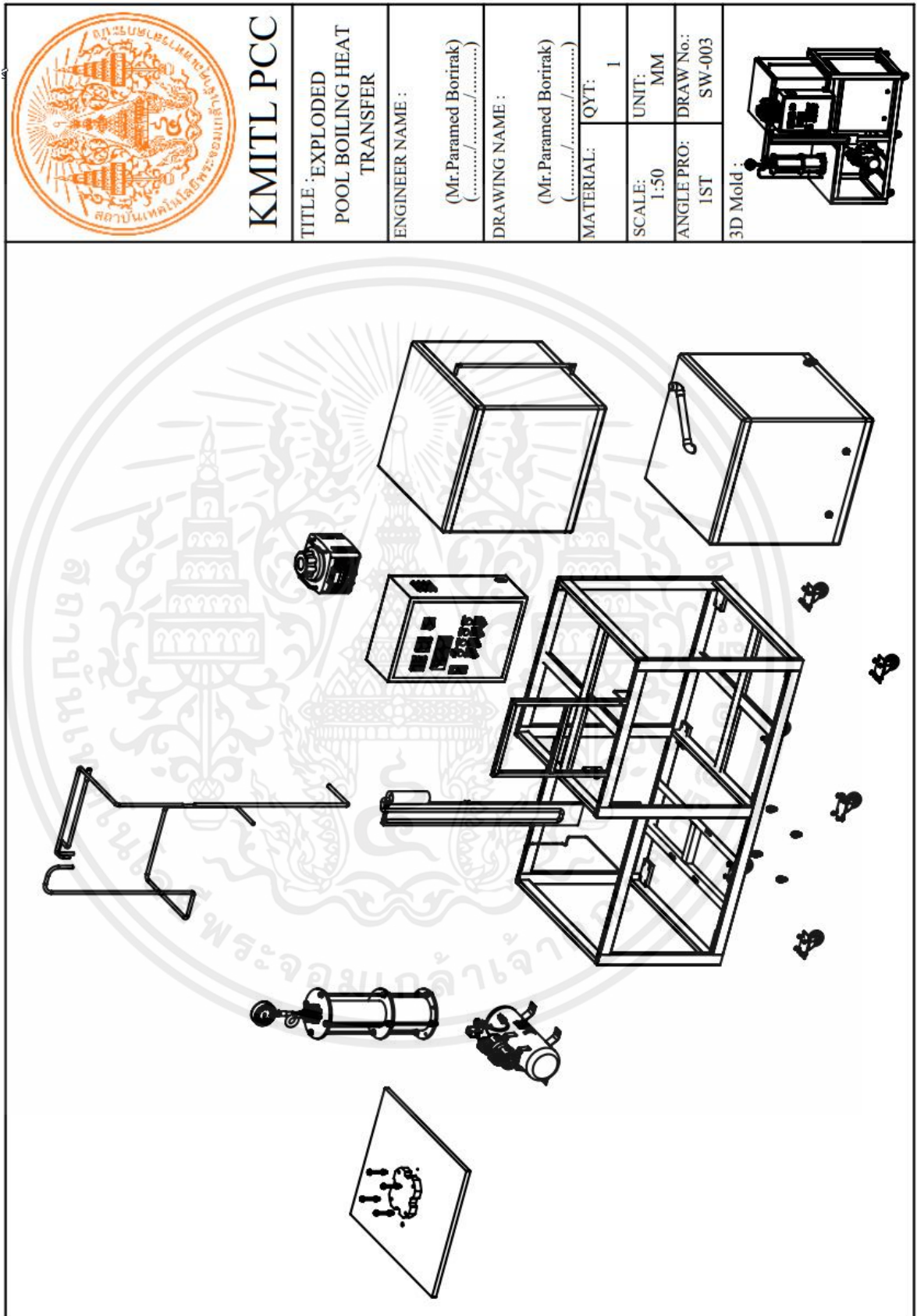
Department of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Parince of Chumphon Campus



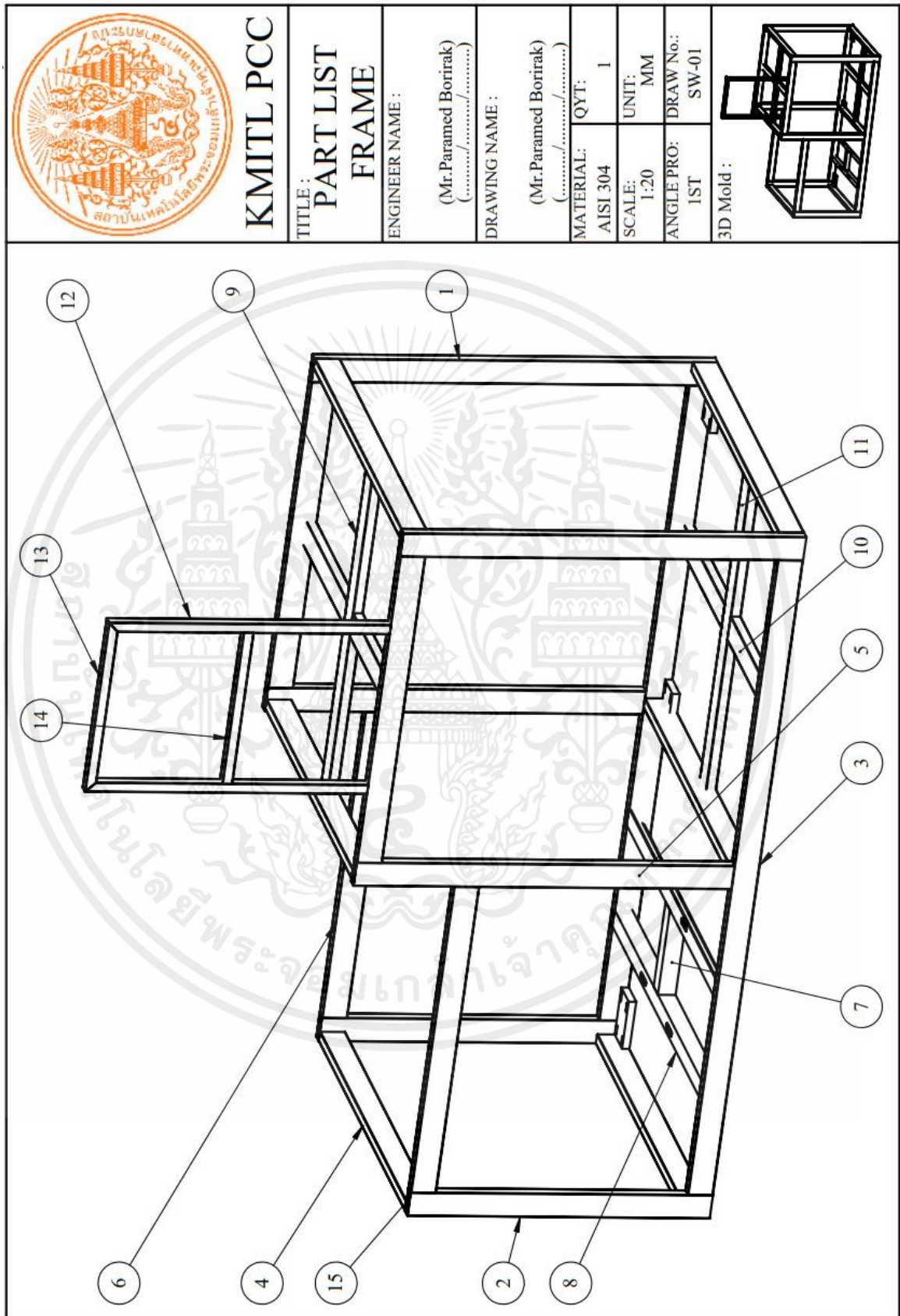
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



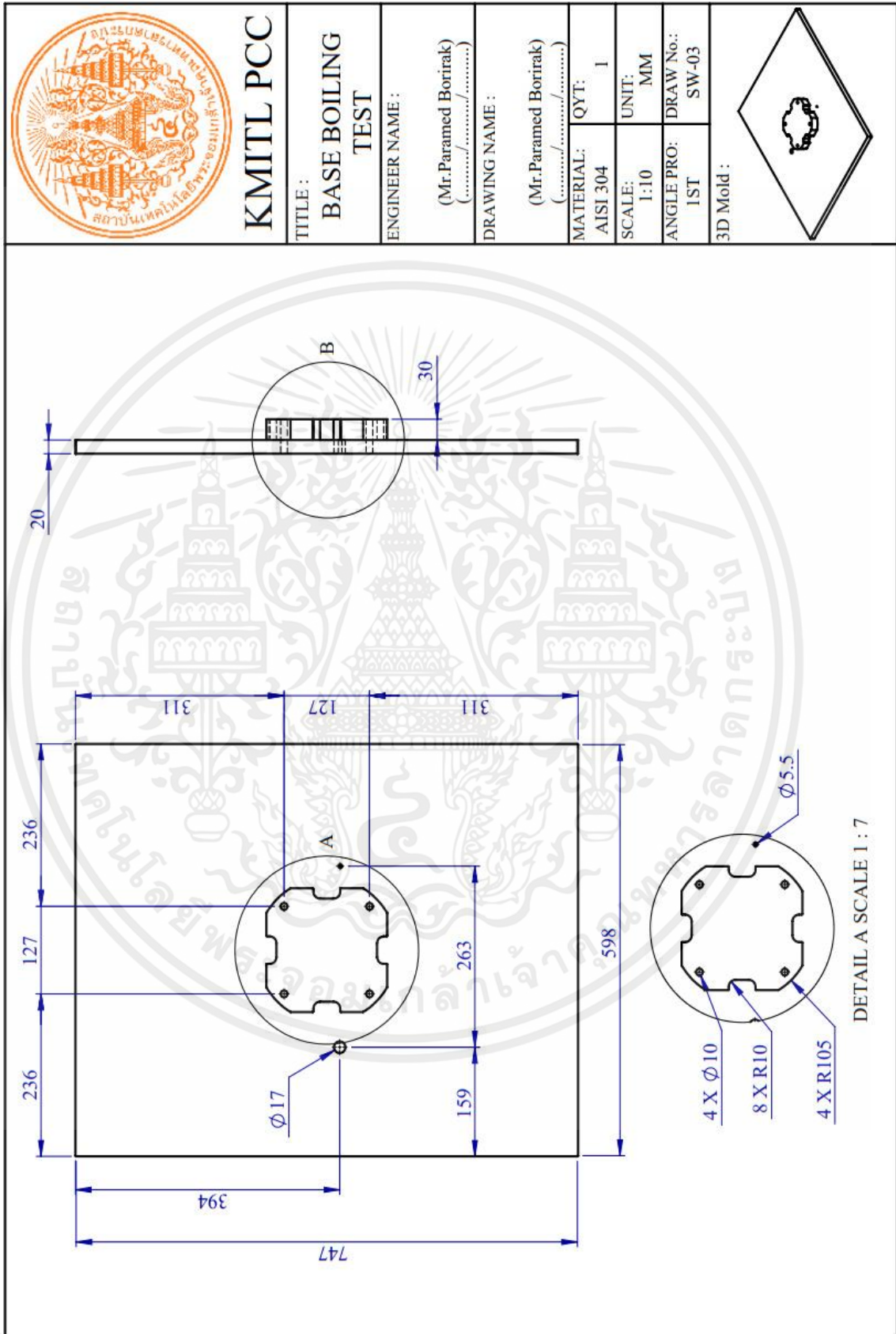
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



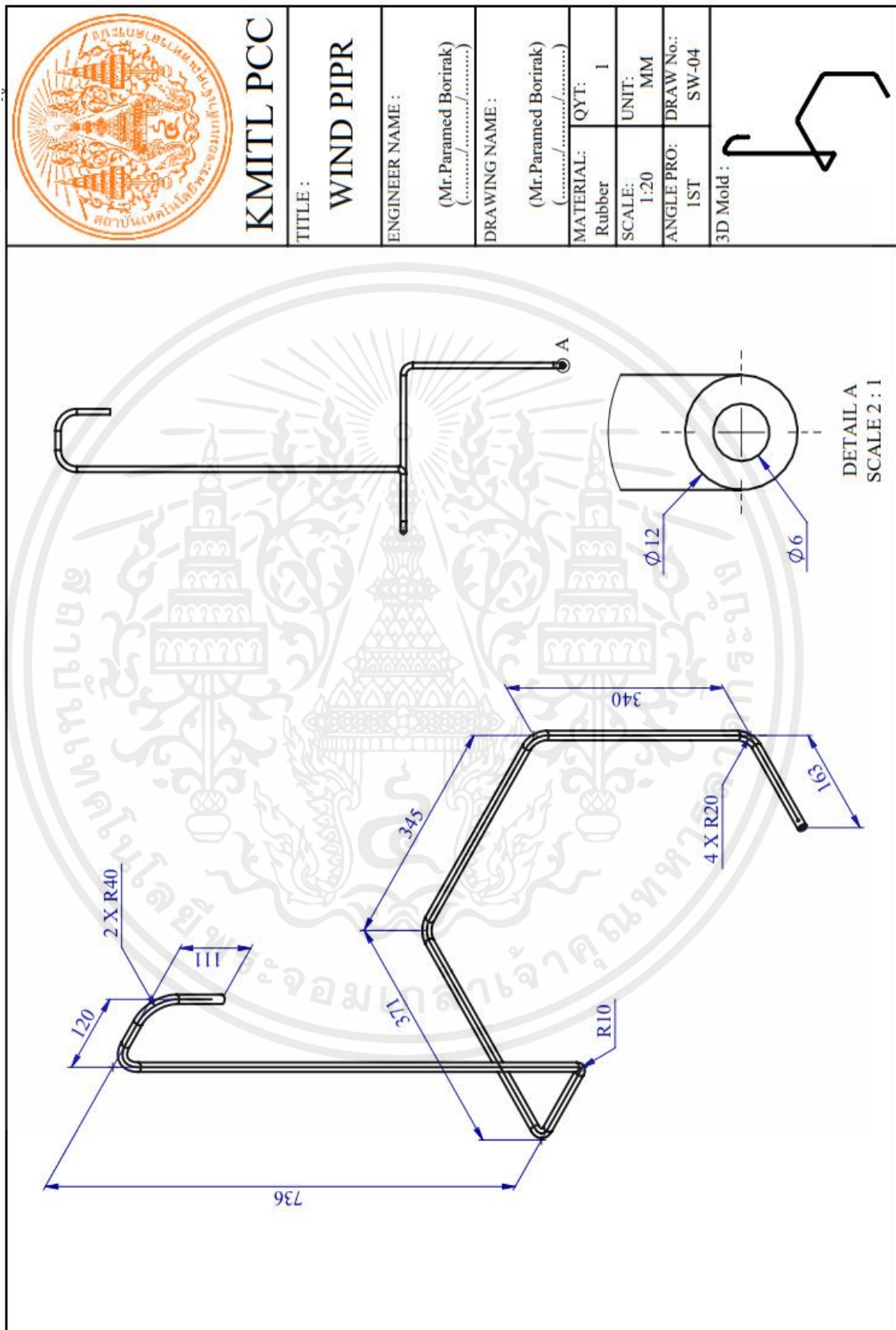
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



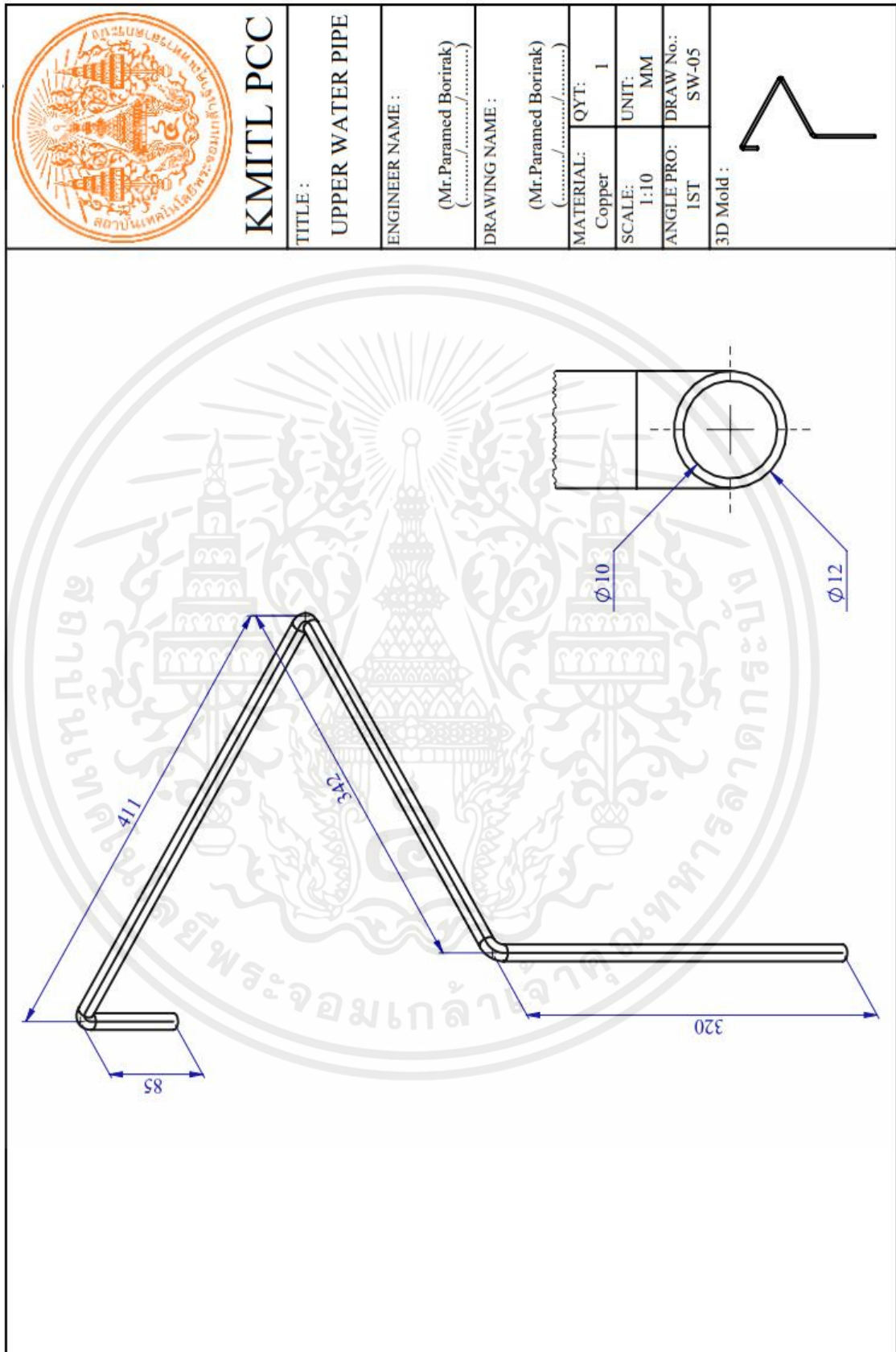
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



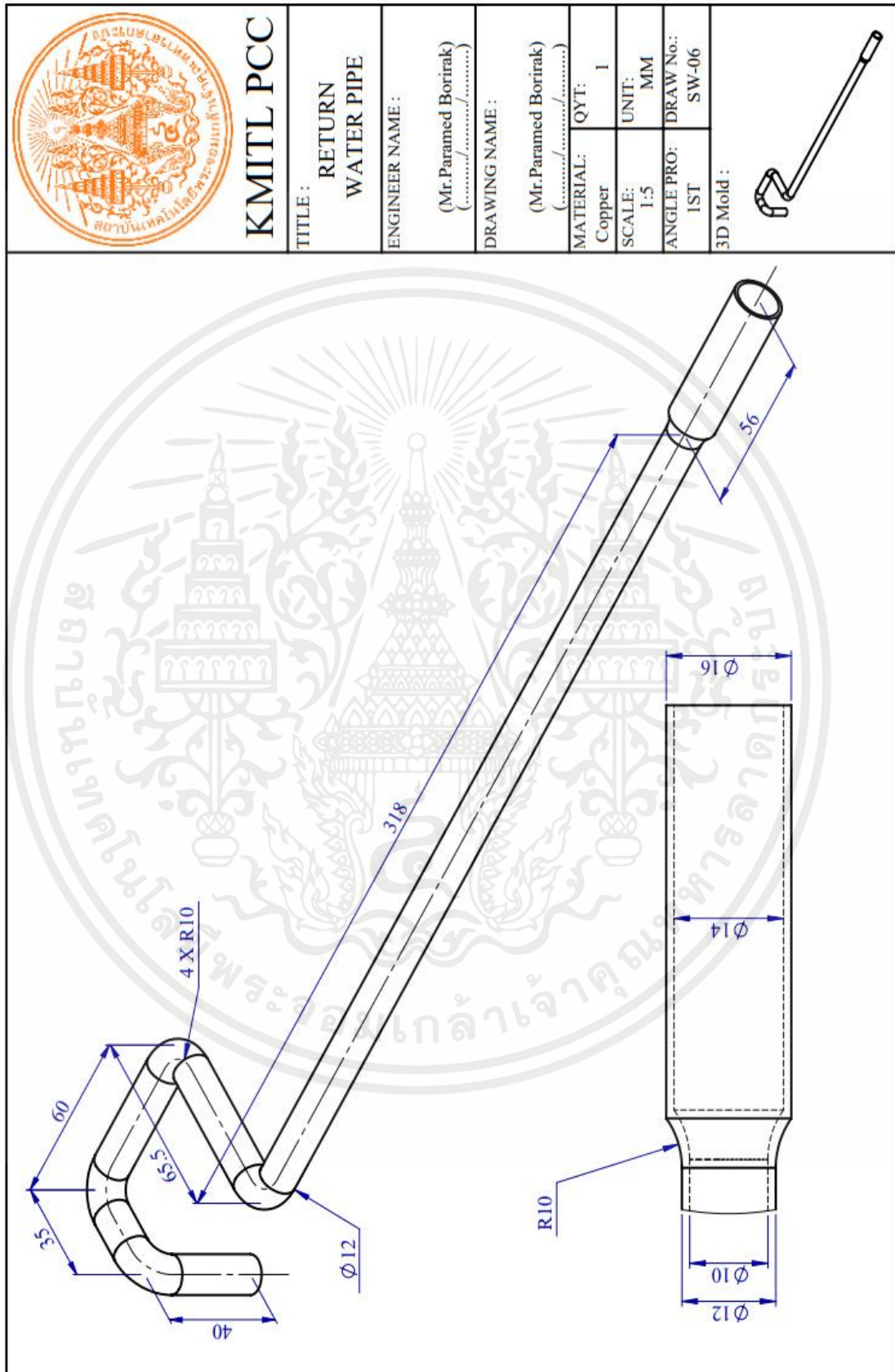
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



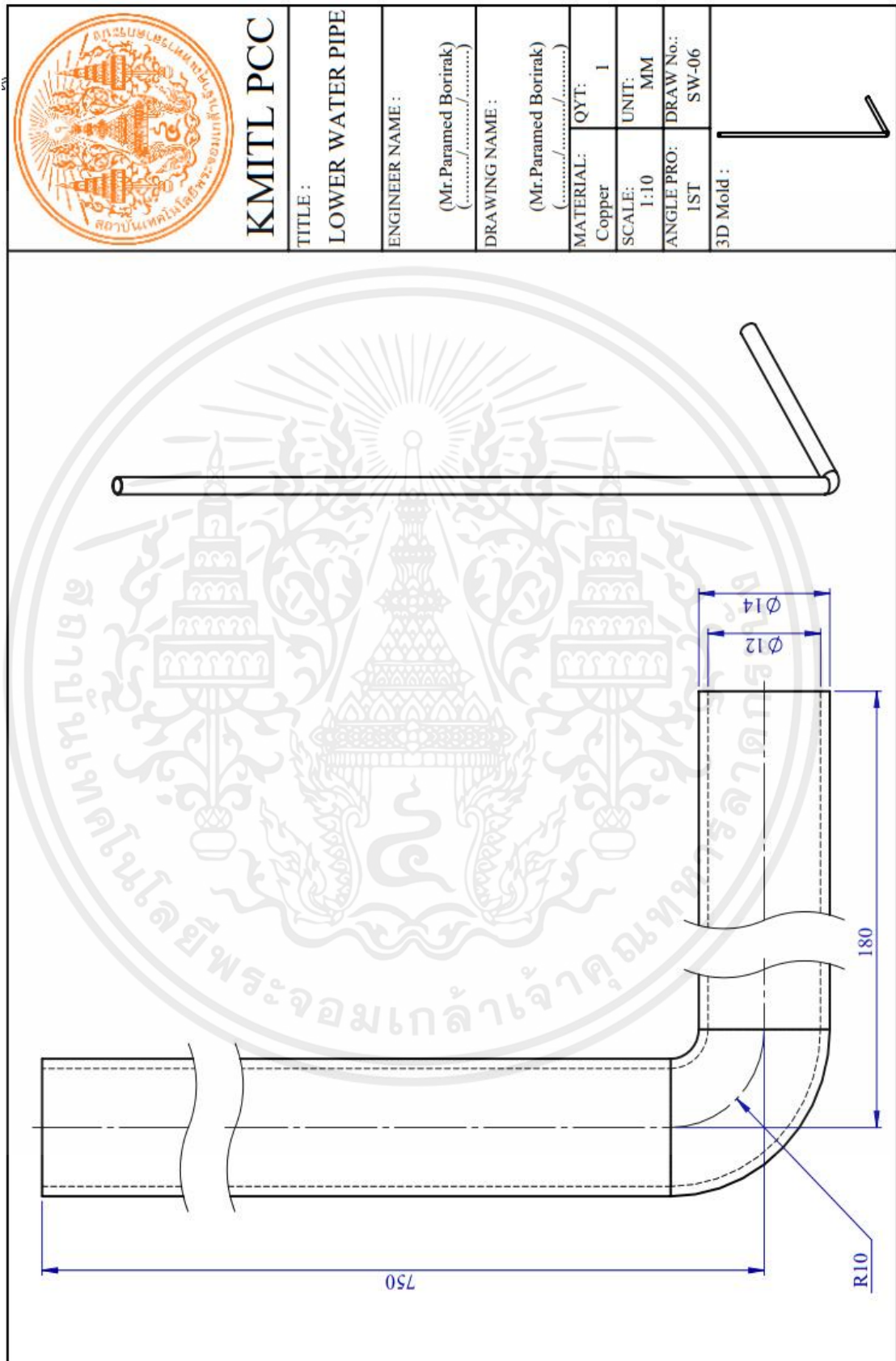
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



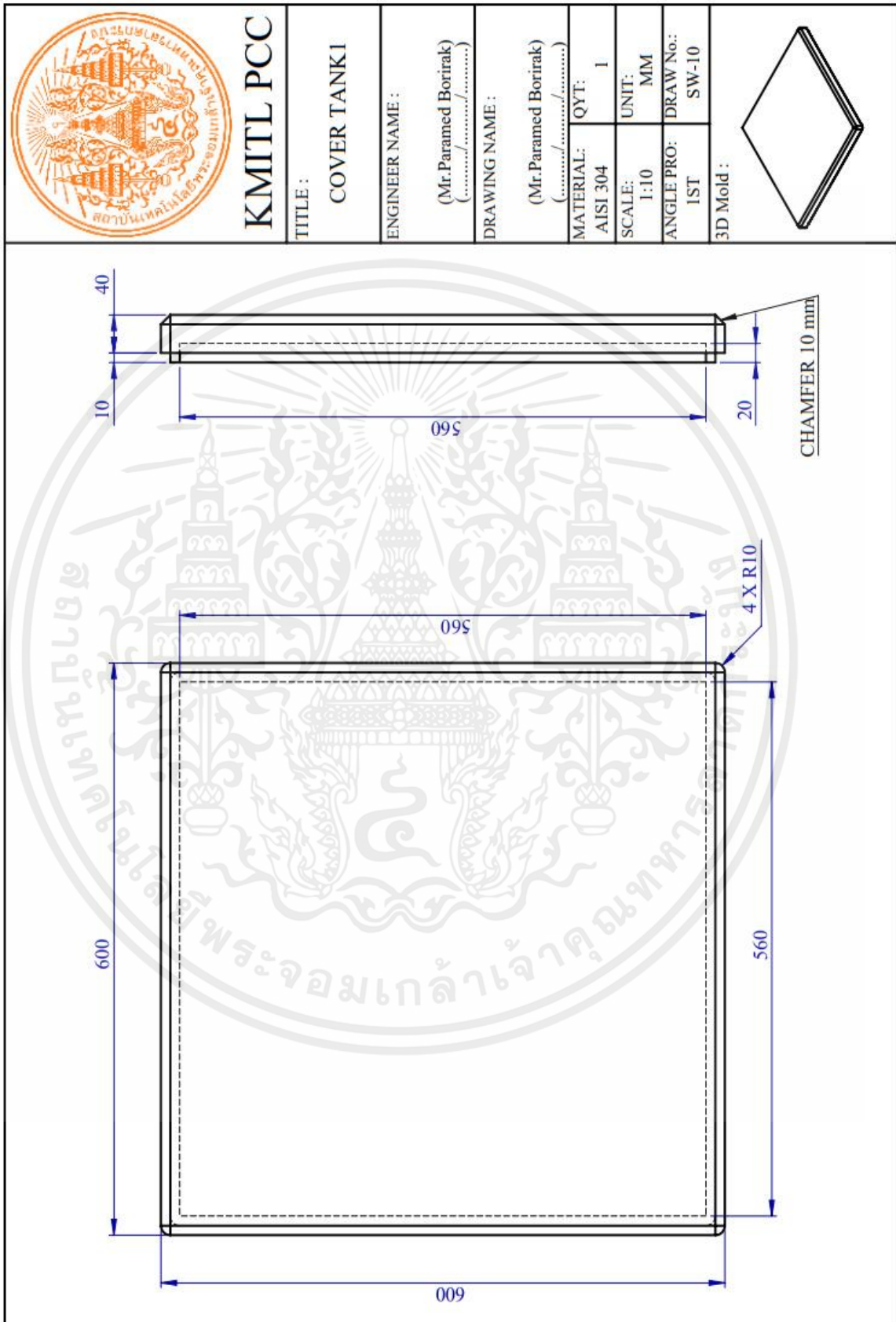
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



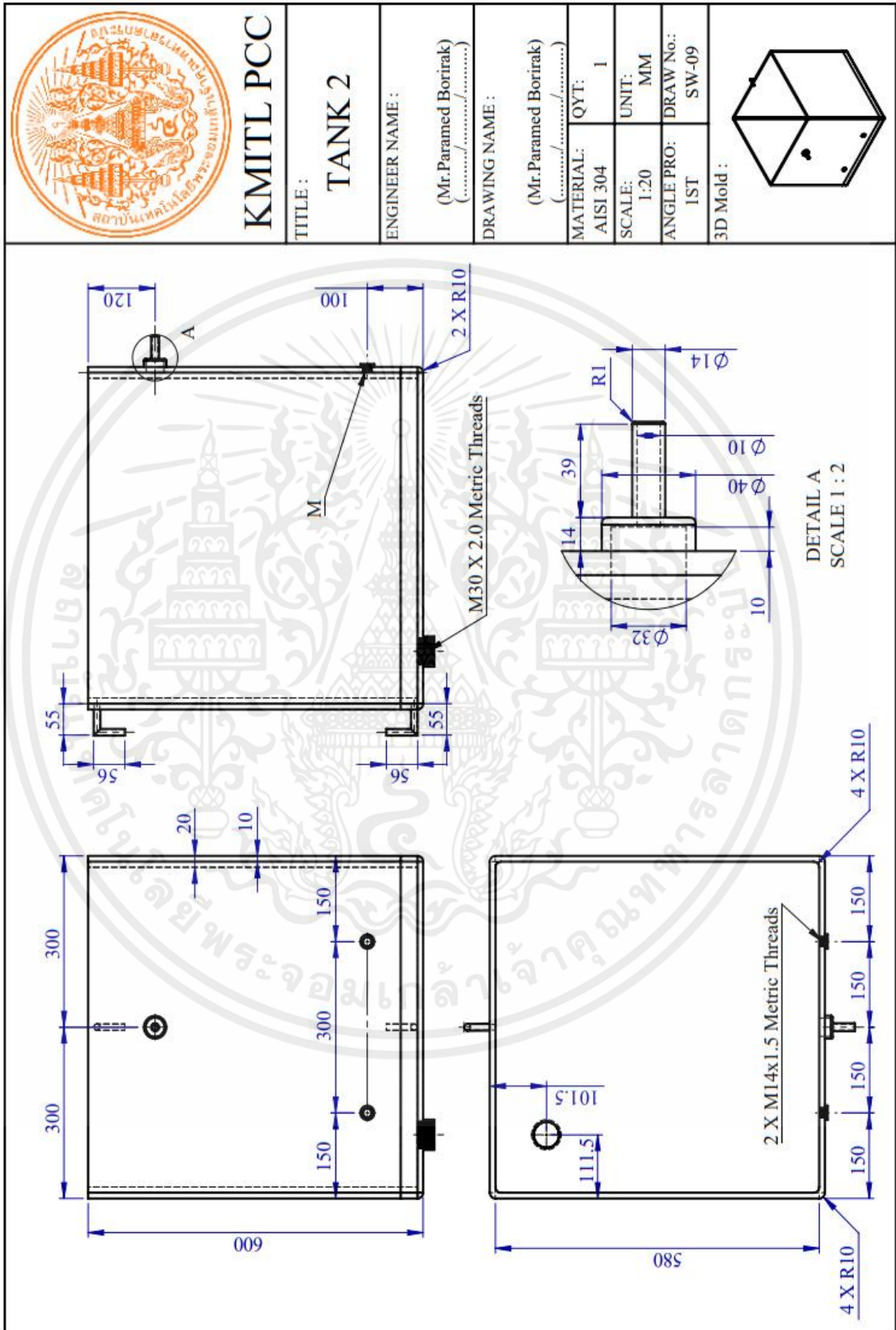
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



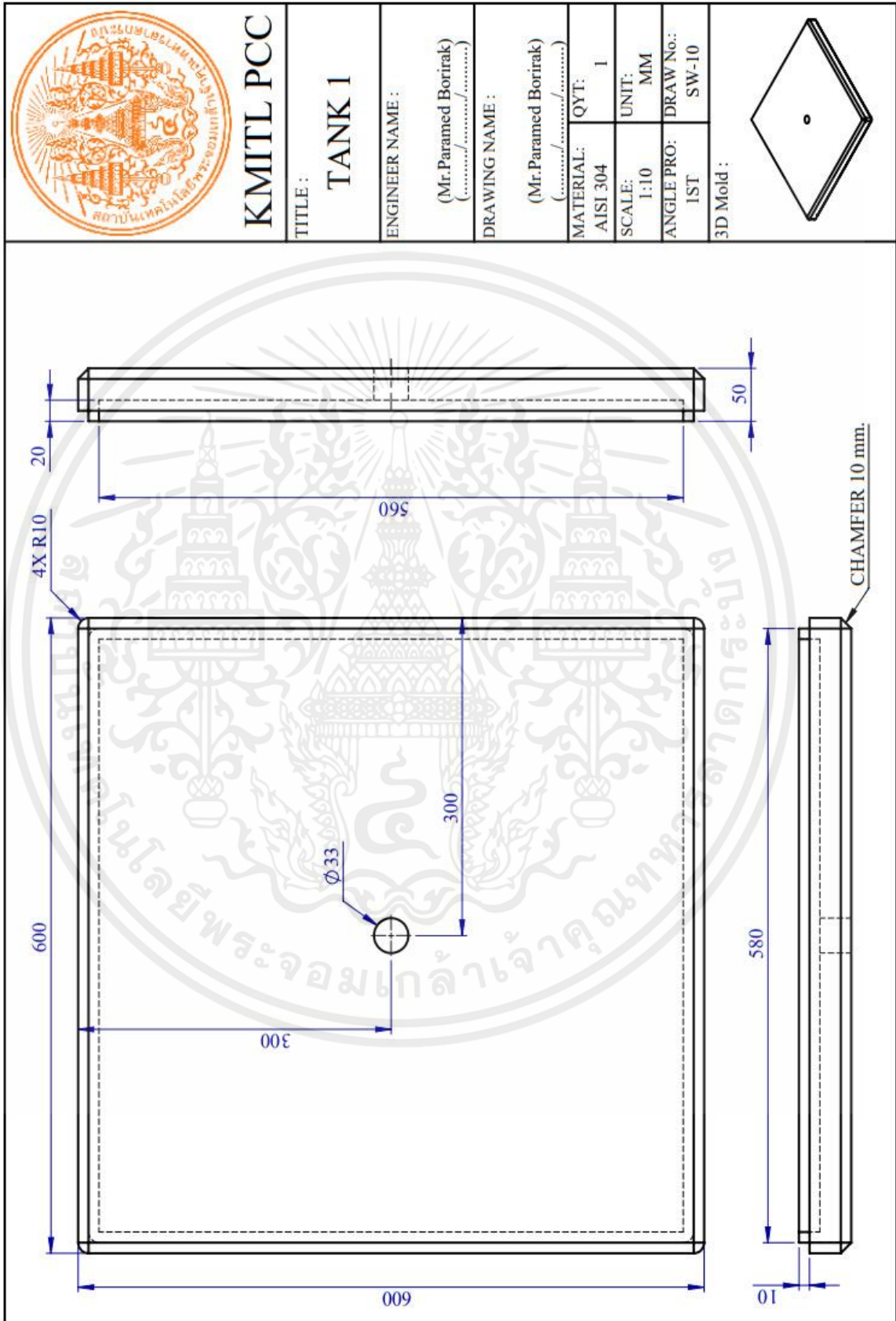
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



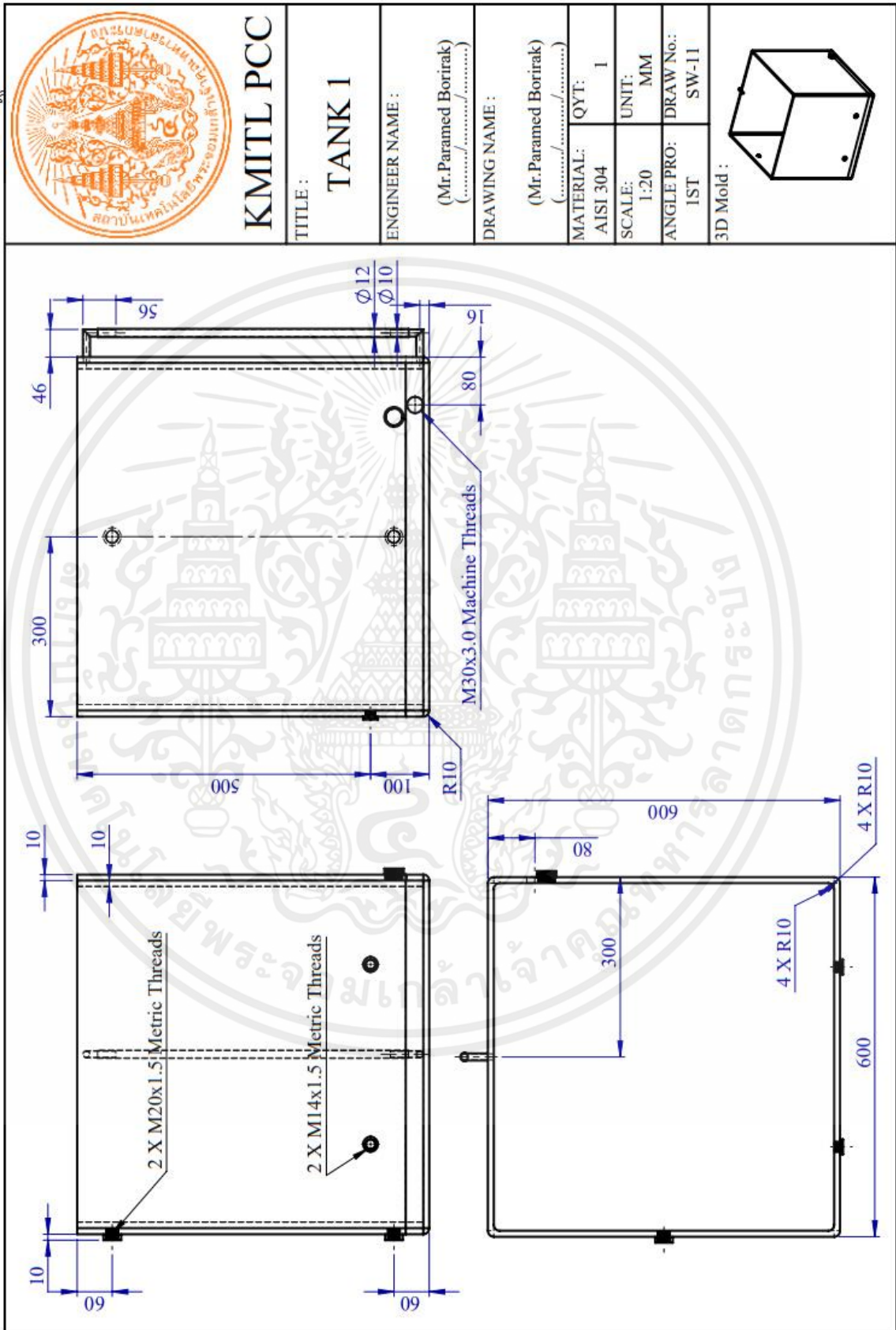
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




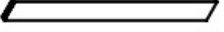
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

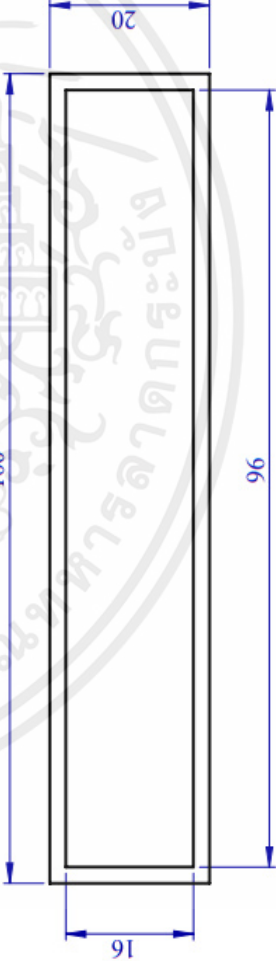
	KMITL PCC		TITLE : WATER LEVEL PIPE CLAMP	ENGINEER NAME : (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)	DRAWING NAME : (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)	MATERIAL: 1060 Alloy	QYT: 1
						SCALE: 1:10	UNIT: MM
ANGLE PRO: 1ST						DRAW No.: SW-13	
3D Mold : 							

FRONT VIEW



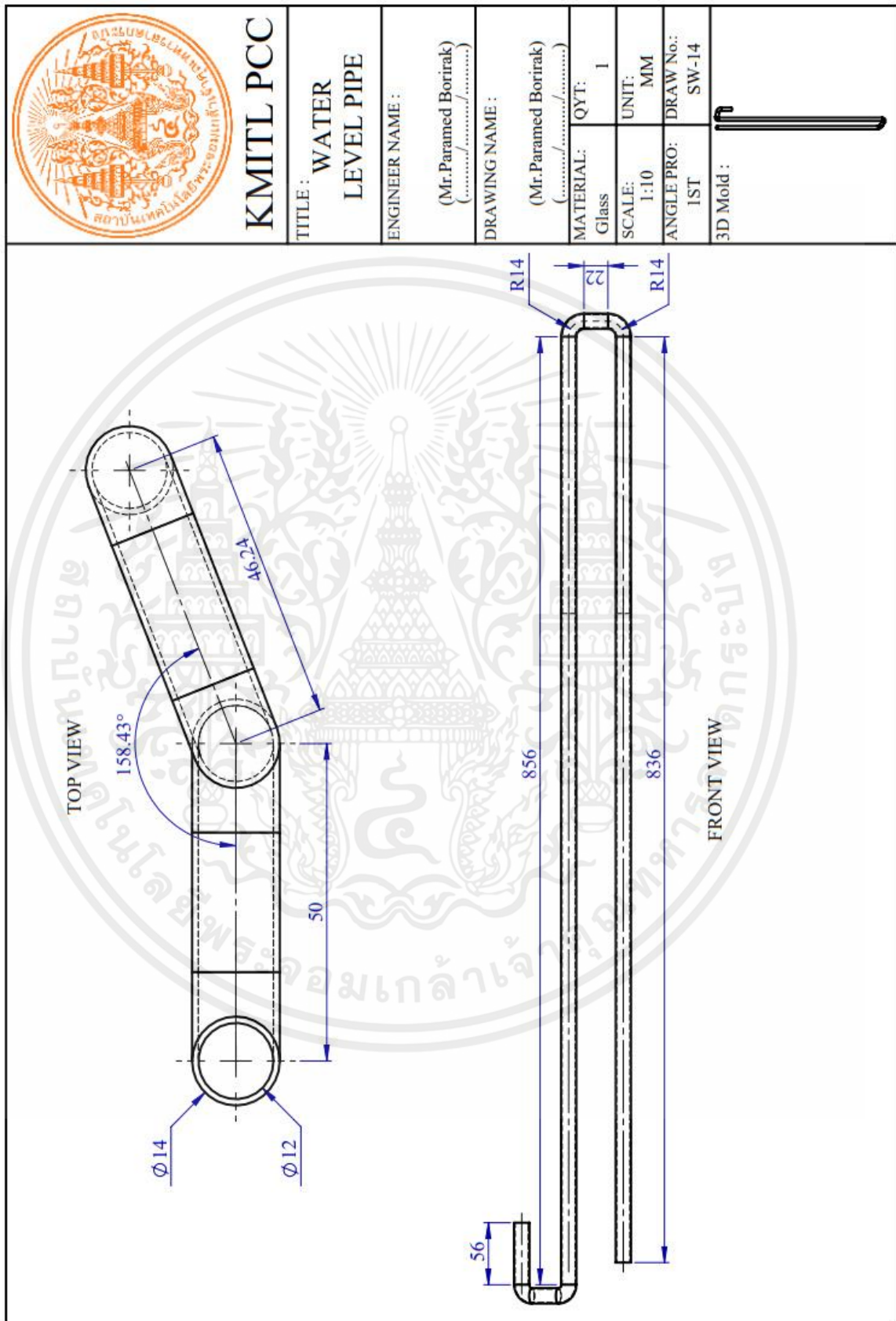
950

TOP VIEW

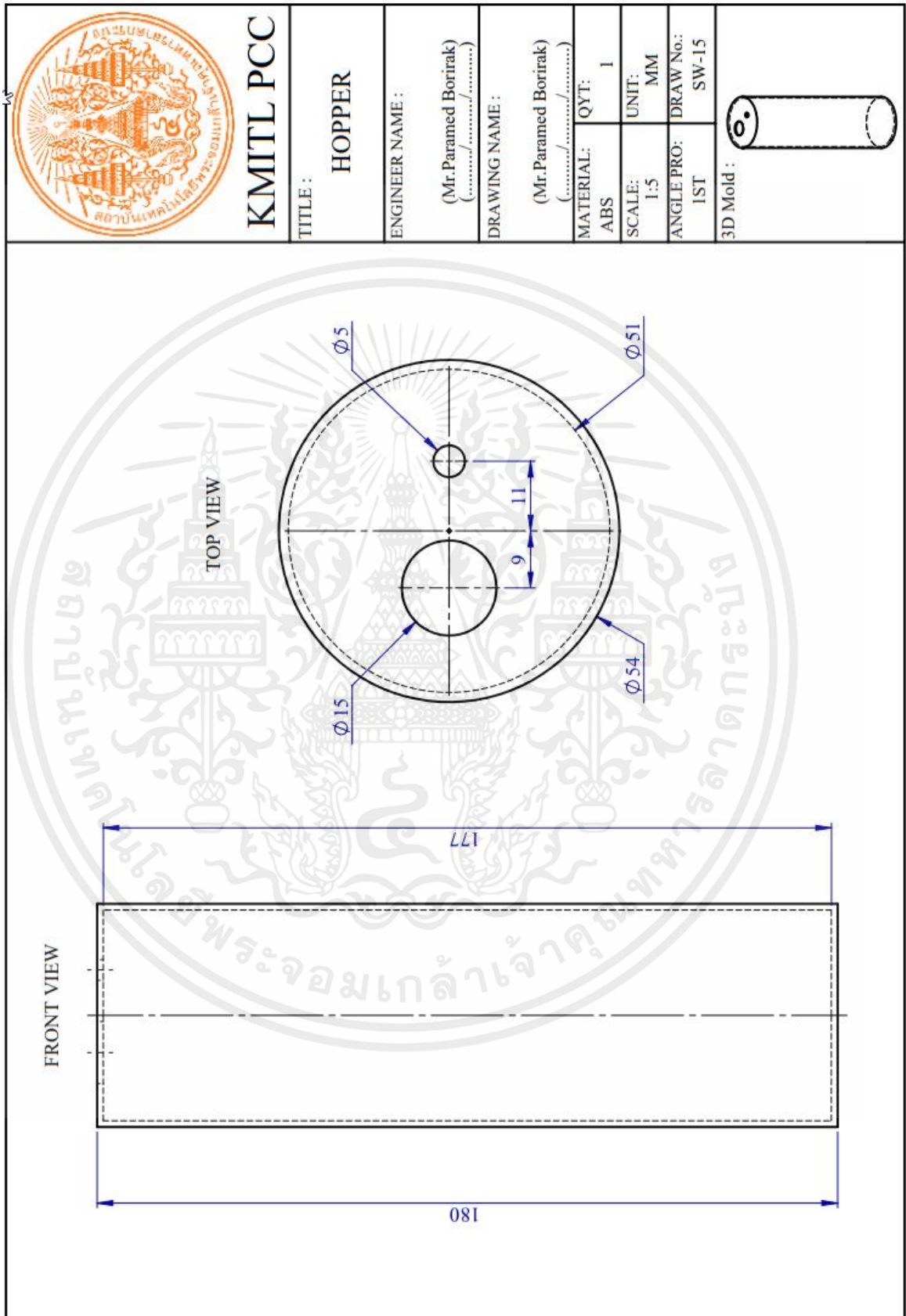


100
96
20
16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



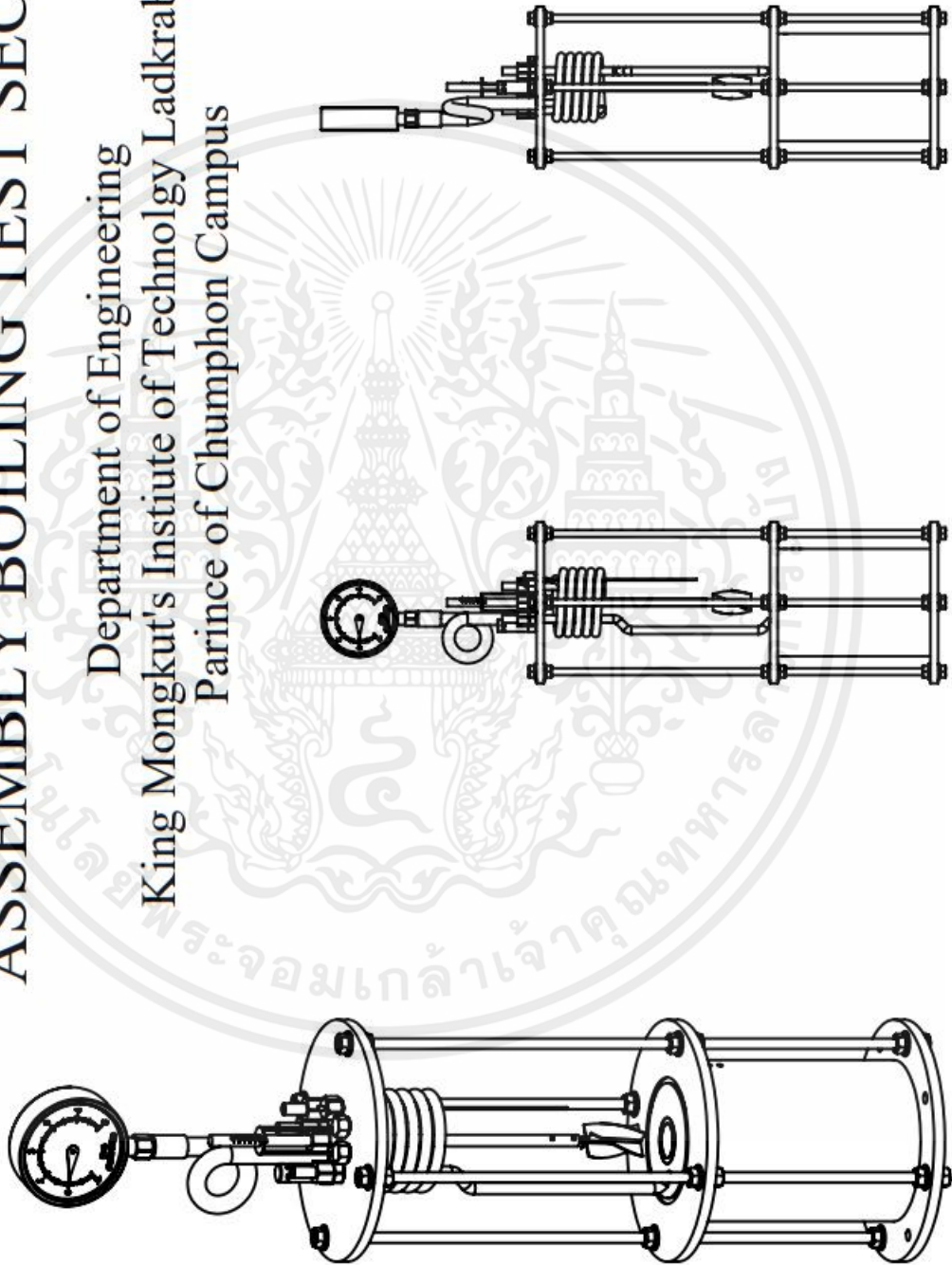
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





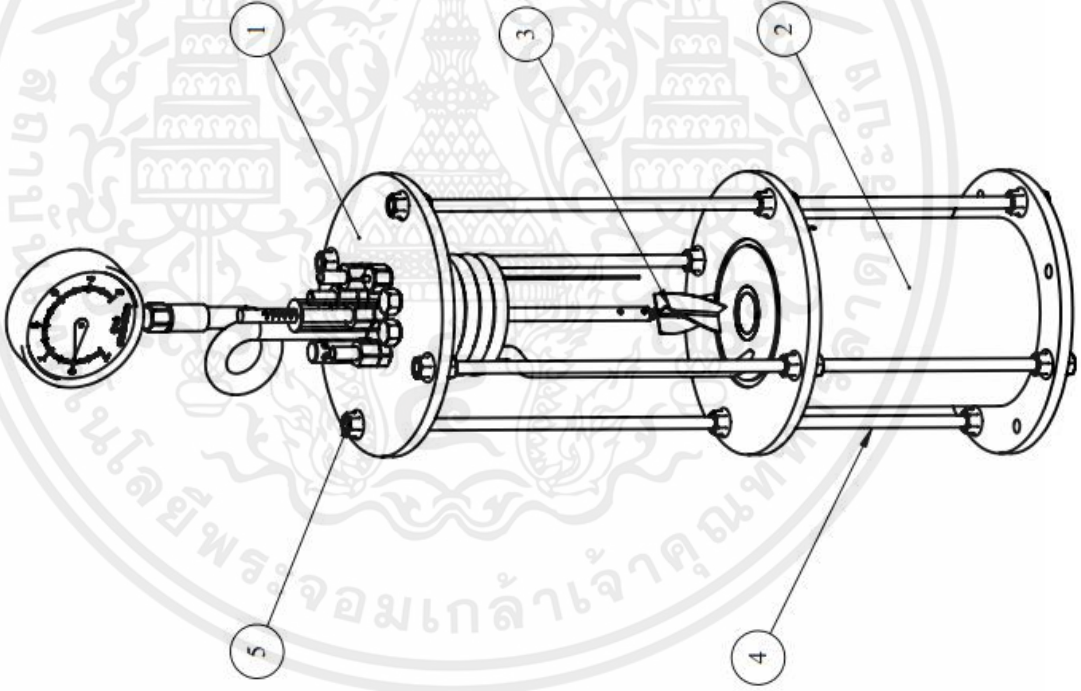
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASSEMBLY BOILING TEST SECTION



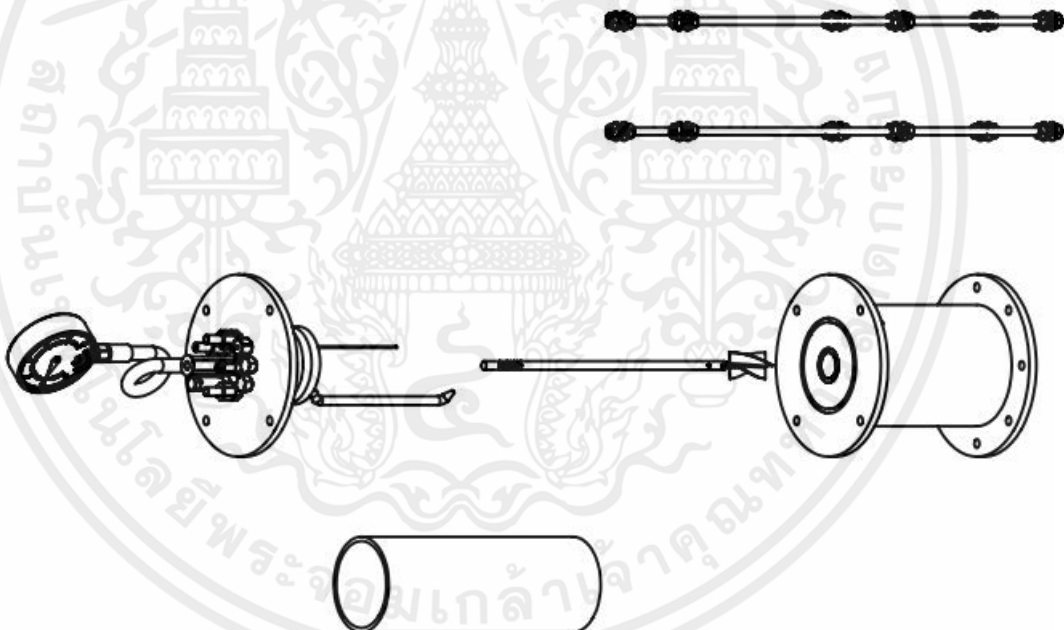
Department of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Parince of Chumphon Campus



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



		KMITL PCC	
TITLE : BALLOON BOILING TEST SECTION			
ENGINEER NAME :			
(Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)			
DRAWING NAME :			
(Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)			
MATERIAL:	QYT:	1	
SCALE:	UNIT:	MM	
ANGLE PRO:	DRAW No.:	SW-12-1	
IST	3D Mold :		
			
			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



		KMITL PCC	
TITLE: EXPLODED BOILING TEST SECTION			
ENGINEER NAME: (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)			
DRAWING NAME: (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)			
MATERIAL:	QTY:	1	
SCALE:	UNIT:	MM	
ANGLE PRO:	DRAW No.:	SW-012-1	
IST	3D Mold :		
			
			

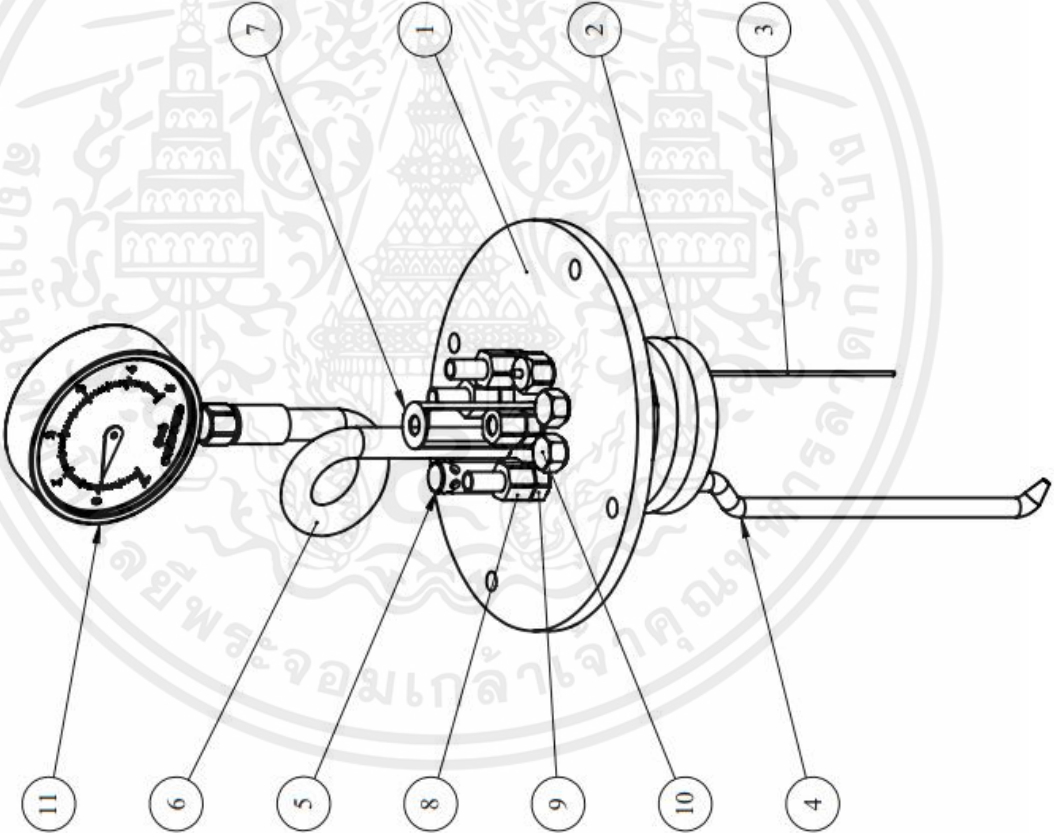
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NO.		TITLE	QTY.	DRAW-NO.	STANDAED
1		BALLOON ASSEMBLY TOP	1	SW-012	-
2		ASSEMBLY HEATING	1	SW-013	-
3		ASSEMBLY DOWNROD	1	SW-014	-
4		STUD M 10 X 1.0	4	SW-015	-
5		CYLINDRICAL GLASS	1	SW-016	-
6		NUT M 10 X 1.0	24	-	ISO - 4161 - M10 - N



	KMITL PCC
ENGINEER NAME : (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)	DRAWING NAME : (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)
MATERIAL: QYT: 1	SCALE: UNIT: MM 1:10
ANGLE PRO: IST	DRAW No.: SW-012-3
3D Mold :	


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	KMITL PCC	
	TITLE: BALLOON ASSEMBLY TOP	
ENGINEER NAME : (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)		DRAWING NAME : (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)
MATERIAL:	QVT: 1	UNIT: MM
SCALE: 1:20	ANGLE PRO: IST	DRAW No.: SW-012-4
3D Mold :		



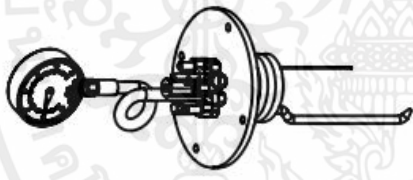


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		KMITL PCC	
TITLE: EXPLODED ASSEMBLY TOP		ENGINEER NAME : (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)	
DRAWING NAME : (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)		MATERIAL: QYT: 1 SCALE: 1:20 UNIT: MM ANGLE PRO: DRAW No.: SW-012-5 1ST	
3D Mold :			

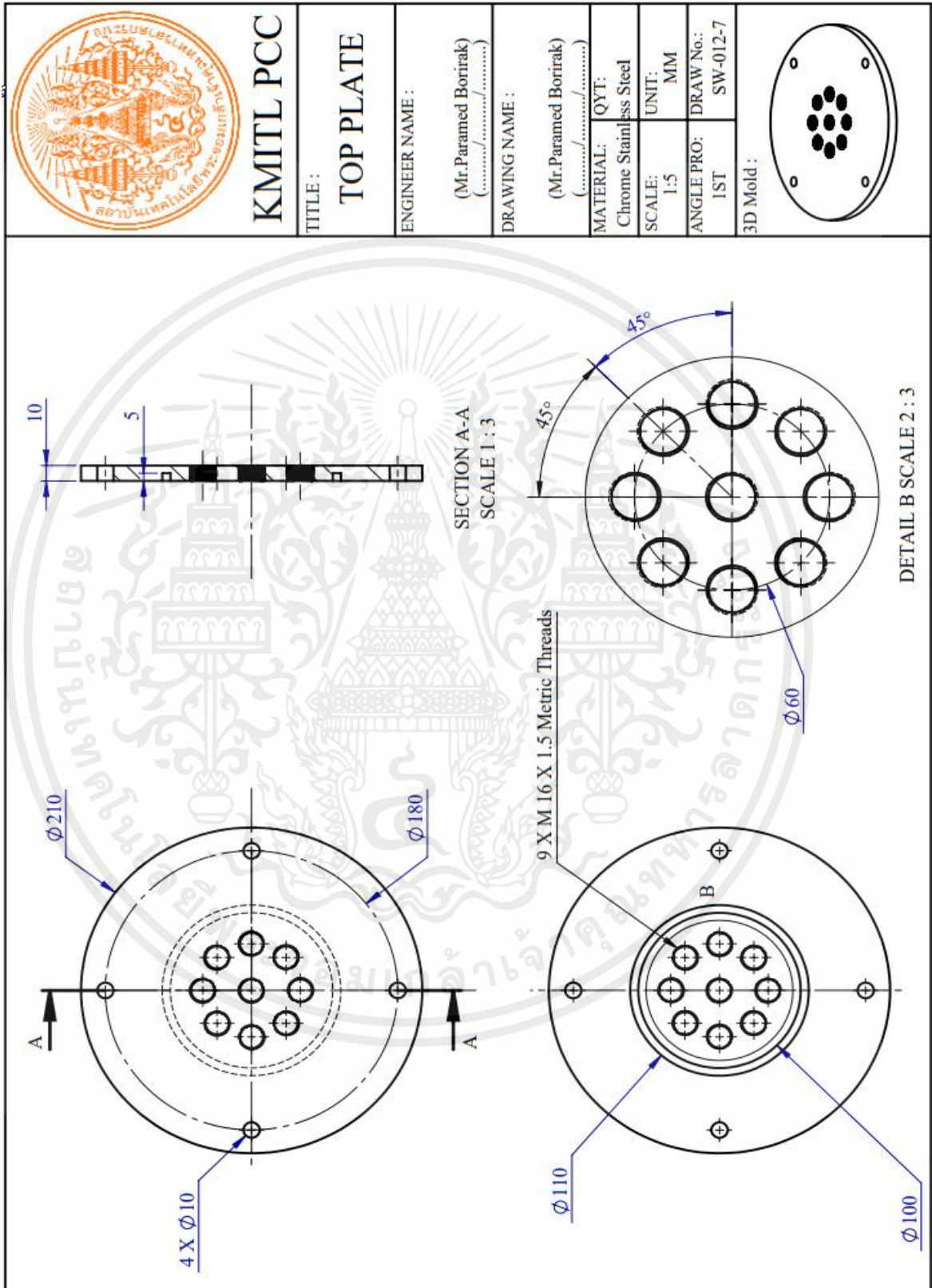


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

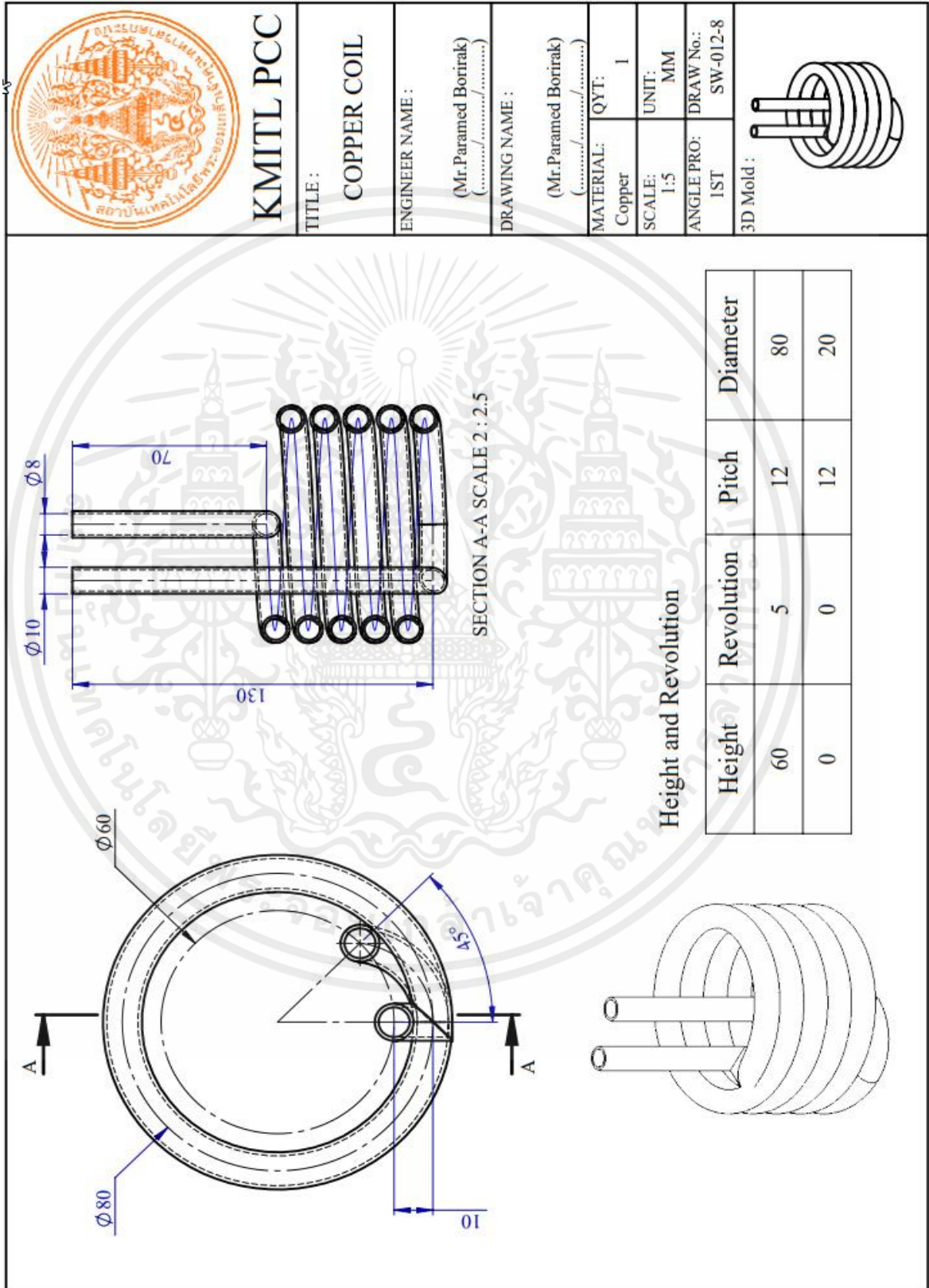
No.	TITLE	QTY.	DRAW-NO.	STANDAED
1	TOP PLATE	1	SW-012-7	-
2	COPPER COIL	1	SW-012-8	-
3	SHEET THERMOCOUPLE 200 mm	1	SW-012-9	-
4	AIR JET TUBE	1	SW-012-10	-
5	SAFETY VALVE	1	SW-012-11	-
6	COIL PIPE SYPHON	1	SW-012-12	-
7	LEVEL MEASUREMENT	1	SW-012-13	-
8	BRASS FITTING NUT 10 mm	4	SW-012-14	-
9	BRASS FITTING BOLT 10 mm	4	SW-012-15	-
10	Bolt Close M16x1.5	2	SW-012-16	-
11	PRESSURE GAUGE	1	-	MG510 DS63A


		
3D Mold :		
DRAWING NAME :		ENGINEER NAME :
(Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)		(Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)
MATERIAL: QYT: 1		SCALE: 1:10 UNIT: MM
DRAW No.: SW-012-6		ANGLE PRO: 1ST
KMITL PCC		
TITLE: PART LIST ASSEMBLY TOP		
		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



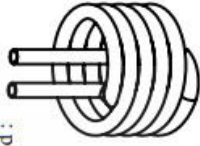


KMITL PCC

TITLE:
COPPER COIL

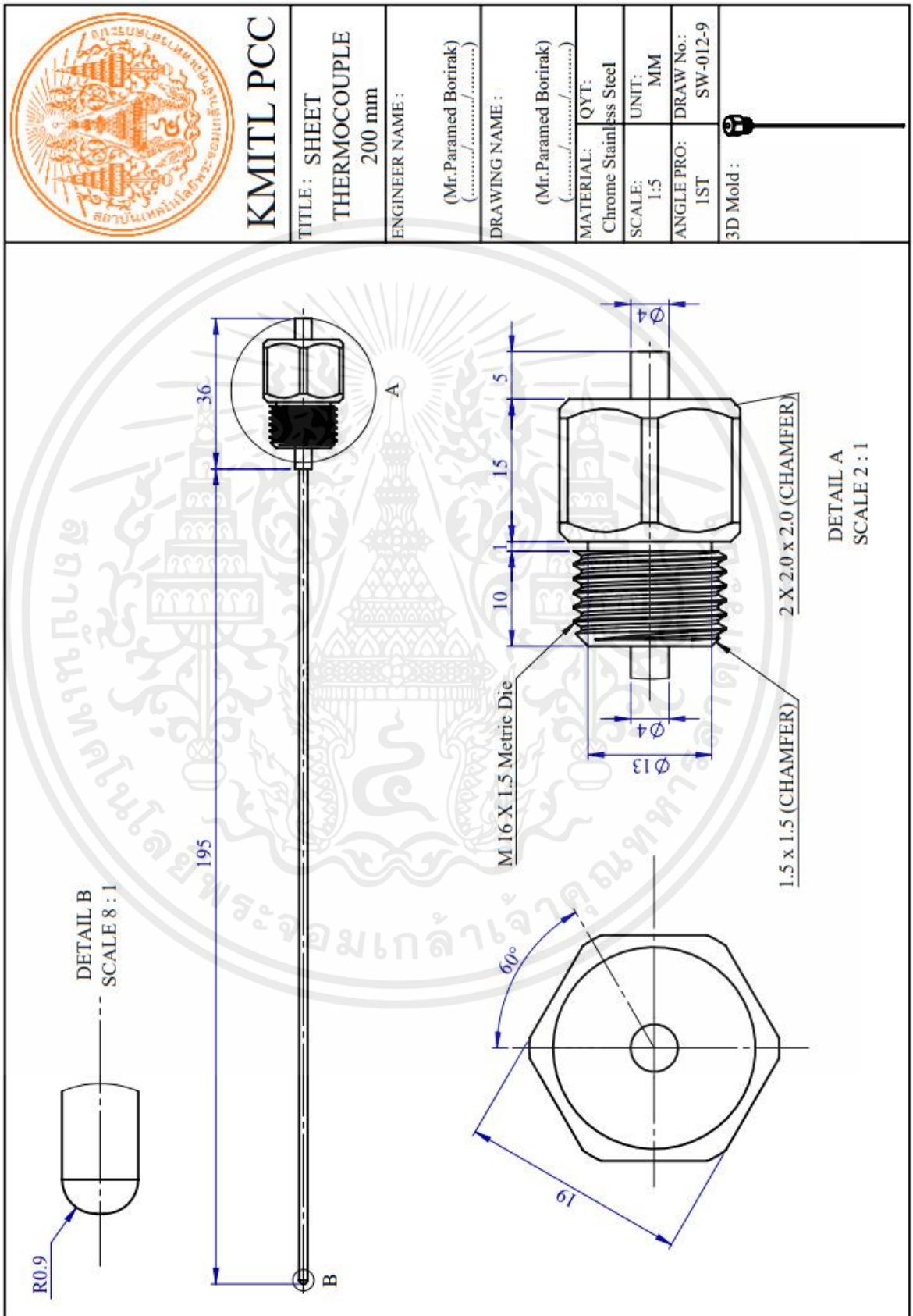
ENGINEER NAME :
(Mr. Paramed Borirak)
(...../...../.....)

DRAWING NAME :
(Mr. Paramed Borirak)
(...../...../.....)

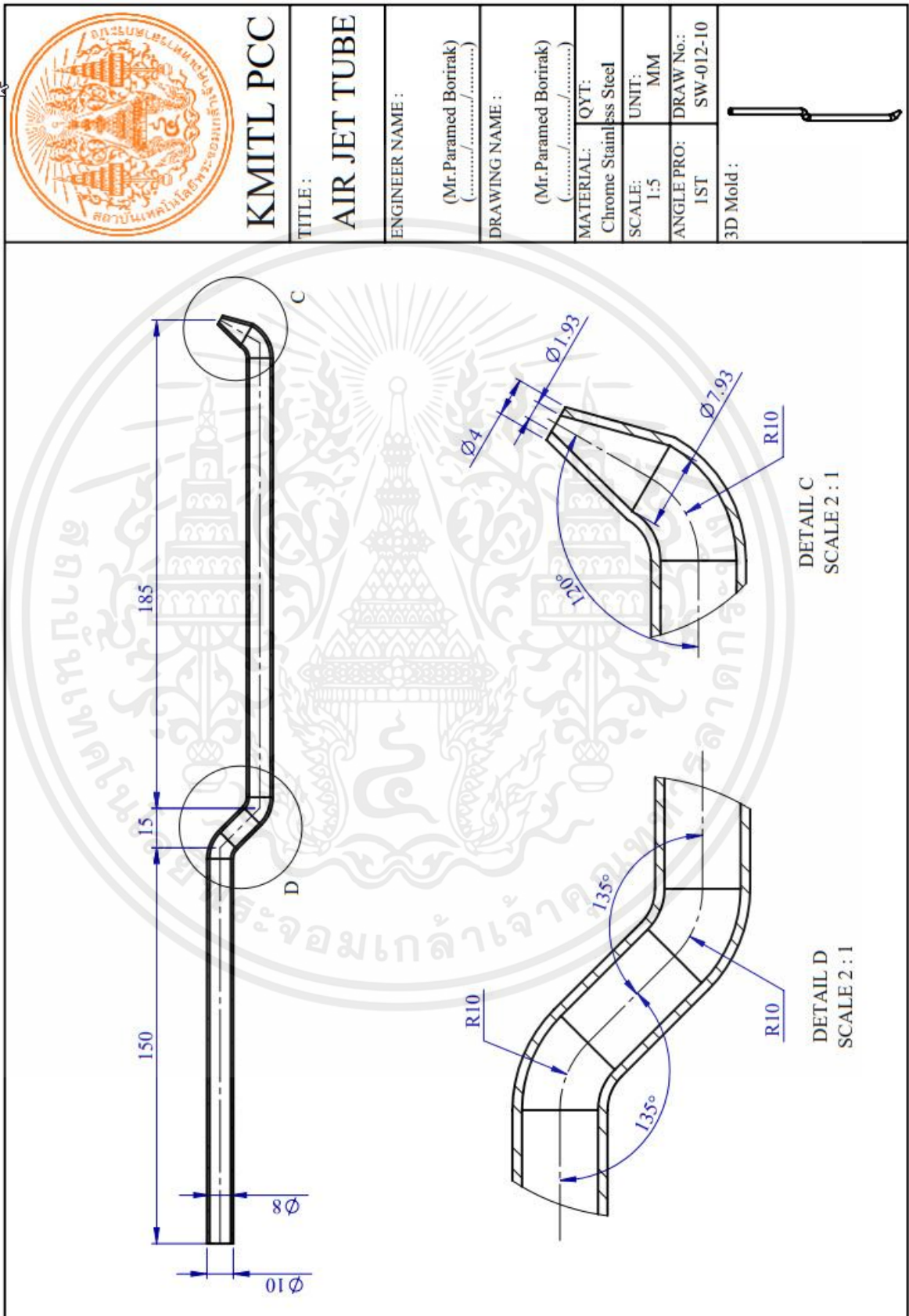


MATERIAL:	QTY:
Copper	1
SCALE:	UNIT:
1:5	MM
ANGLE PRO:	DRAW No.:
1ST	SW-012-8
3D Mold :	

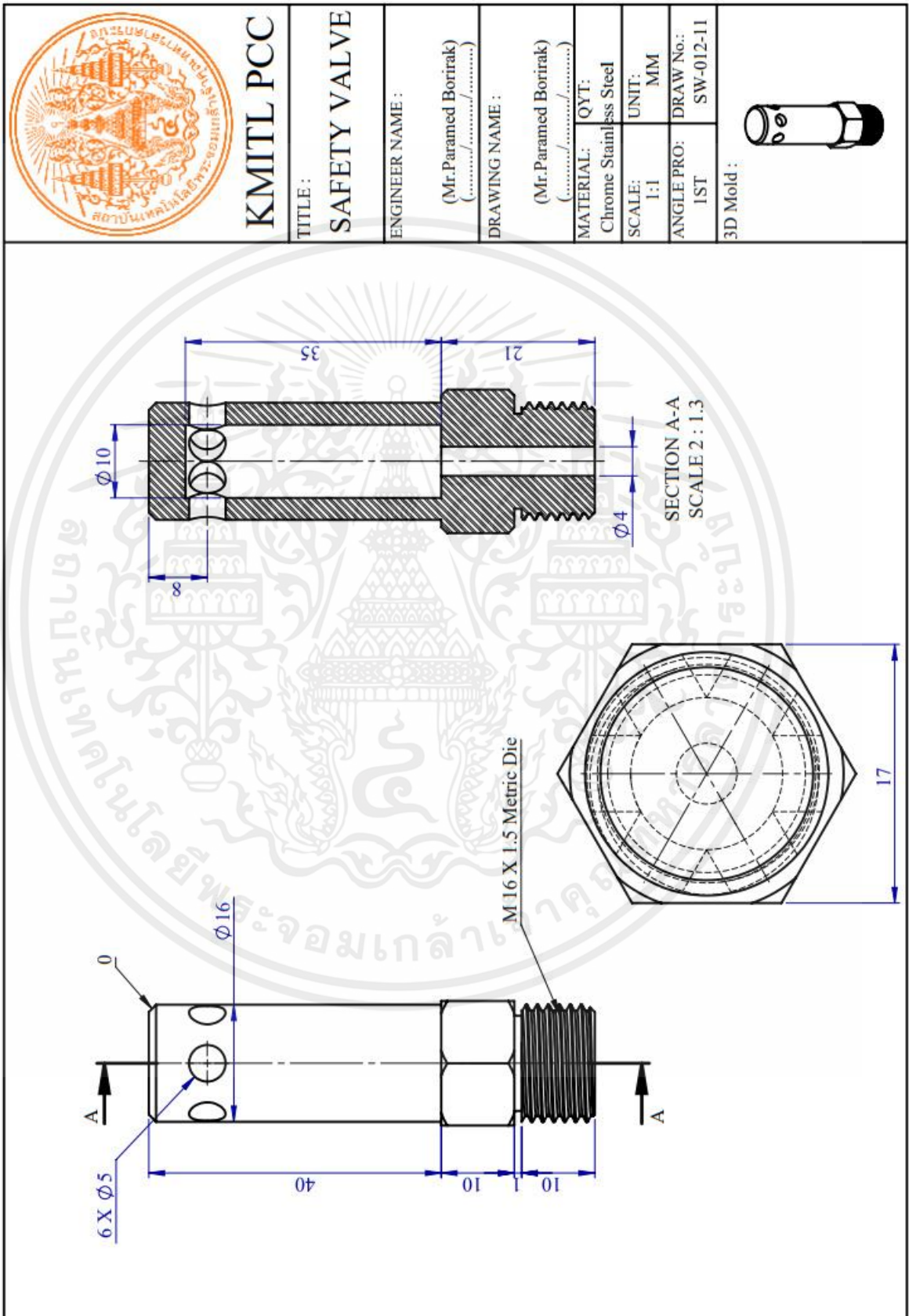
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

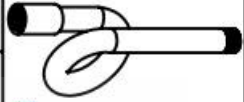


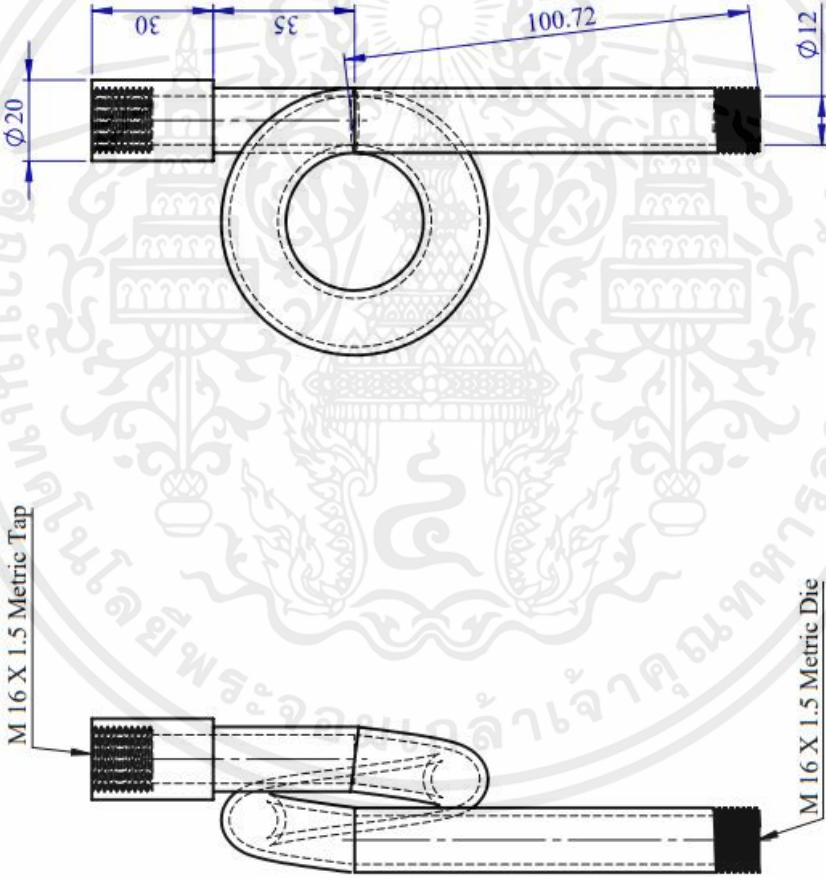
KMITL PCC

TITLE: COIL PIPE SYPHON

ENGINEER NAME : (Mr. Paramed Borirak)

DRAWING NAME : (Mr. Paramed Borirak)



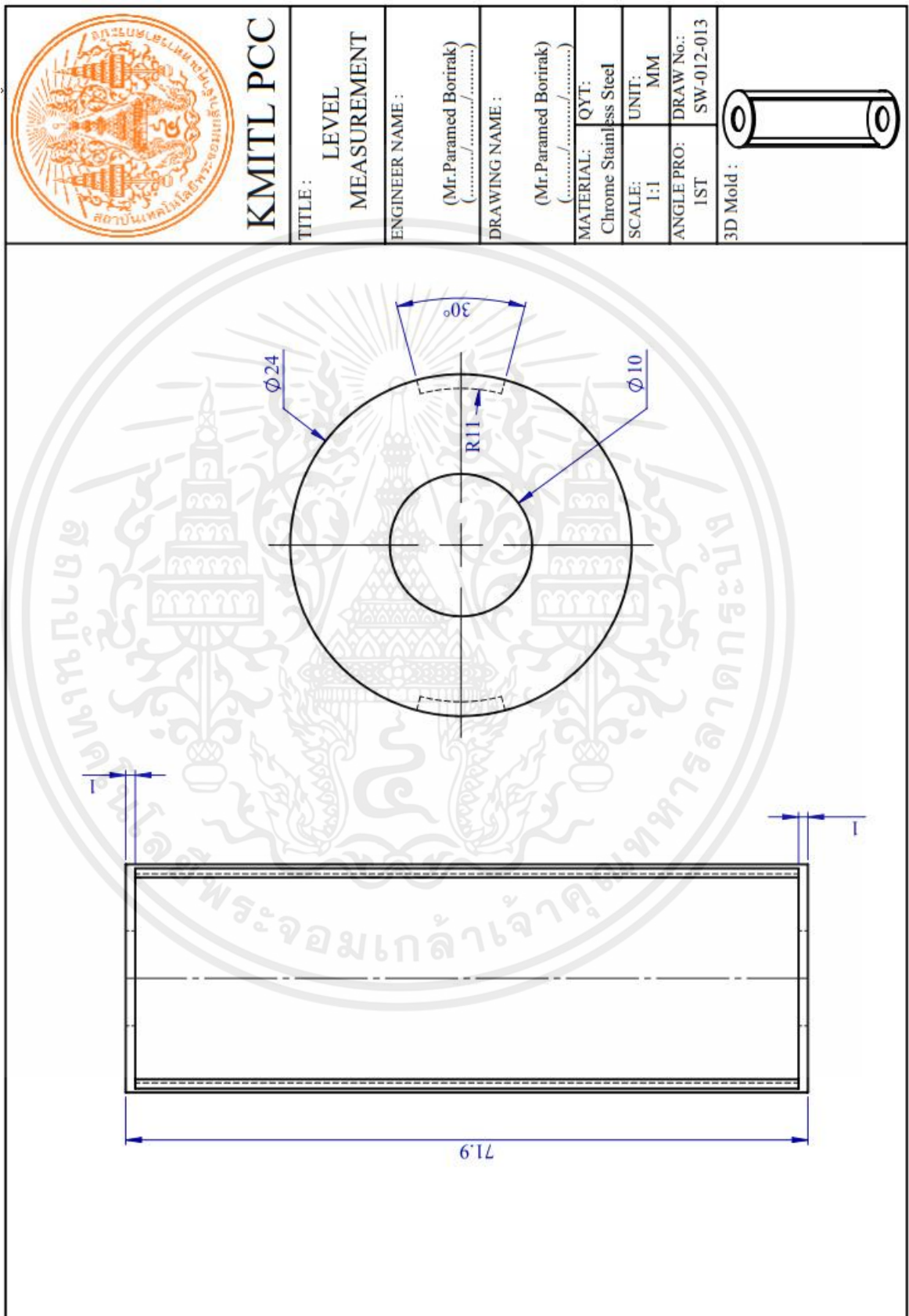


M 16 X 1.5 Metric Tap

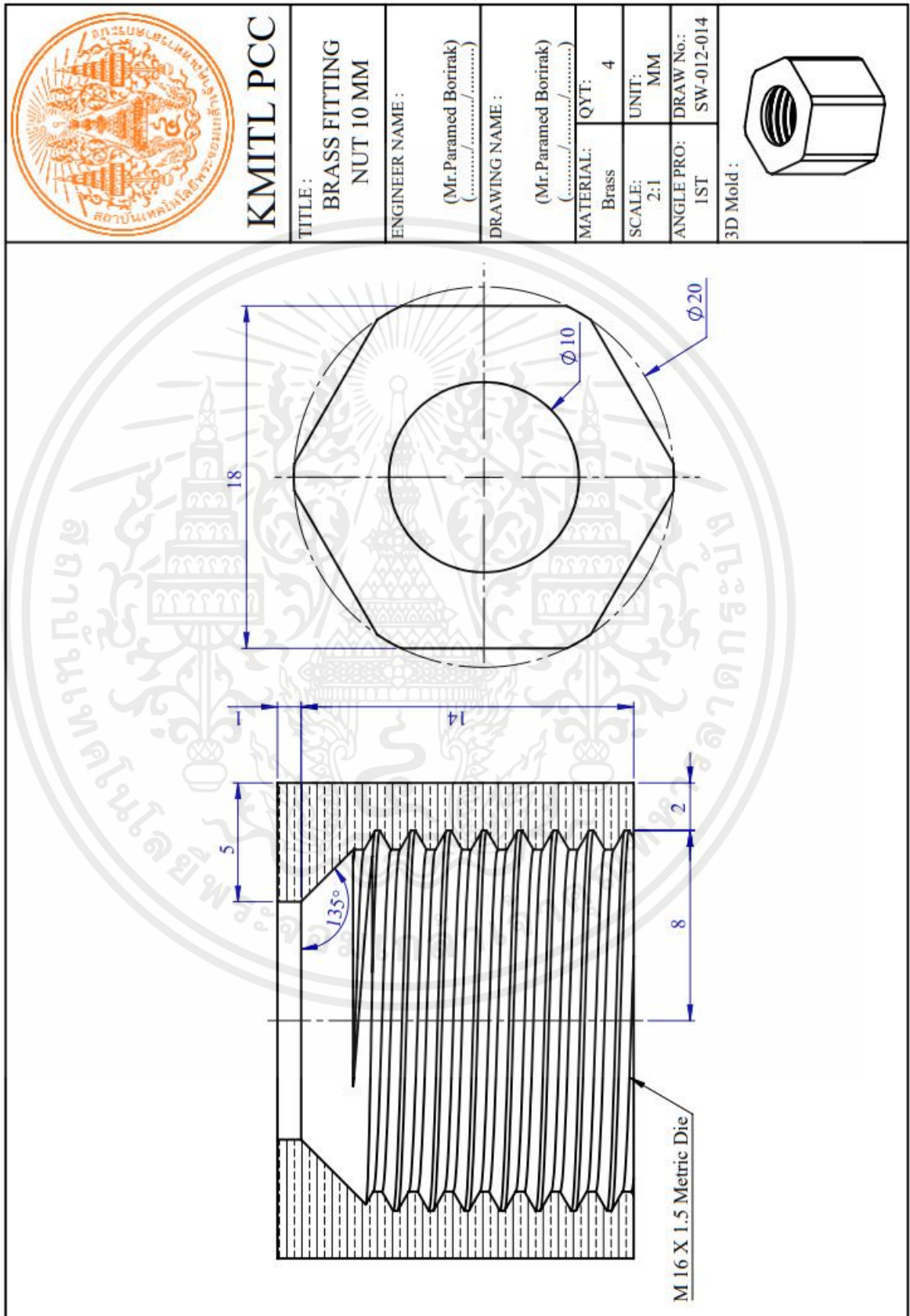
M 16 X 1.5 Metric Die

Height	Revolution	Pitch	Diameter
0	0	20	50
20	1	20	50

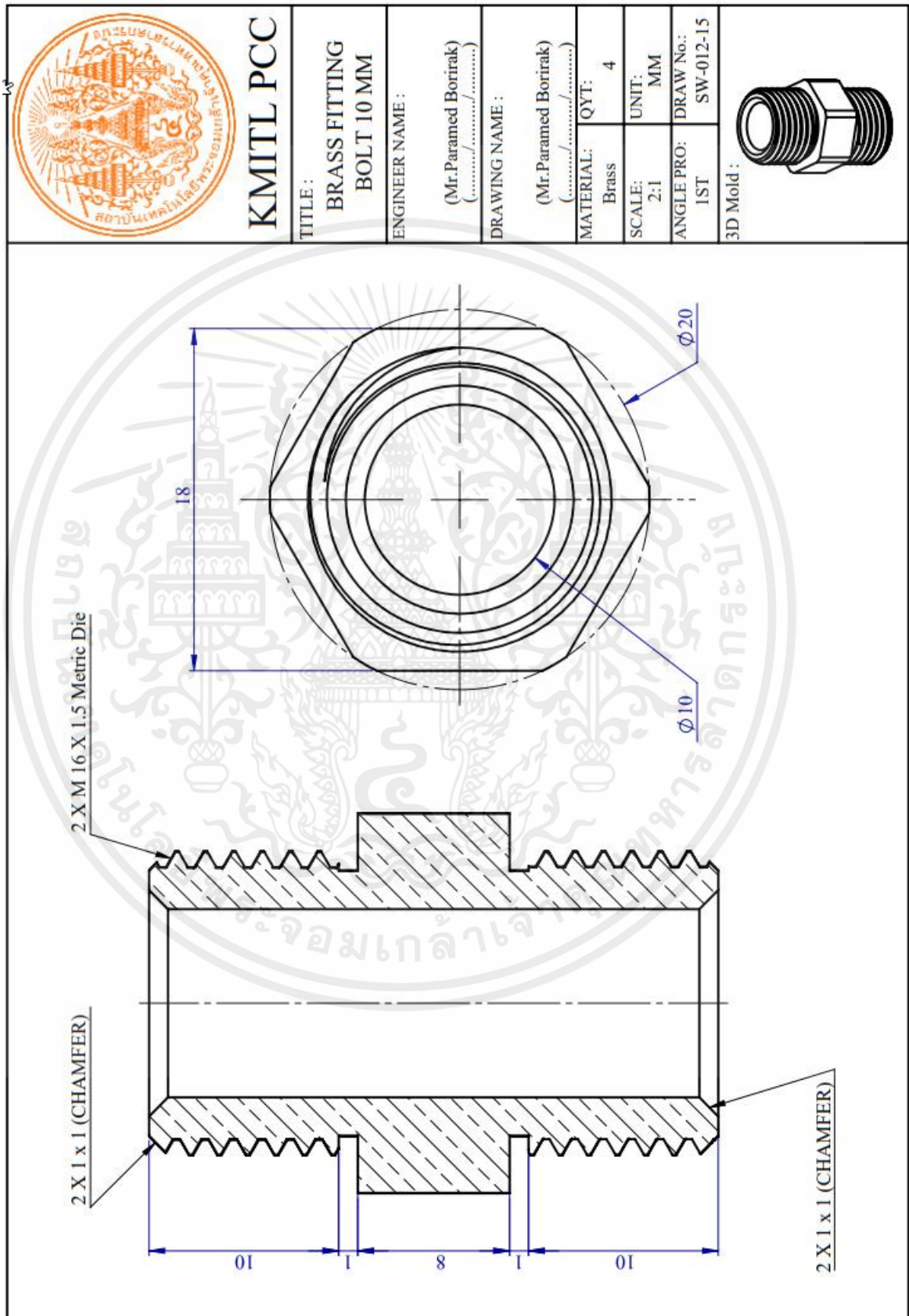
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



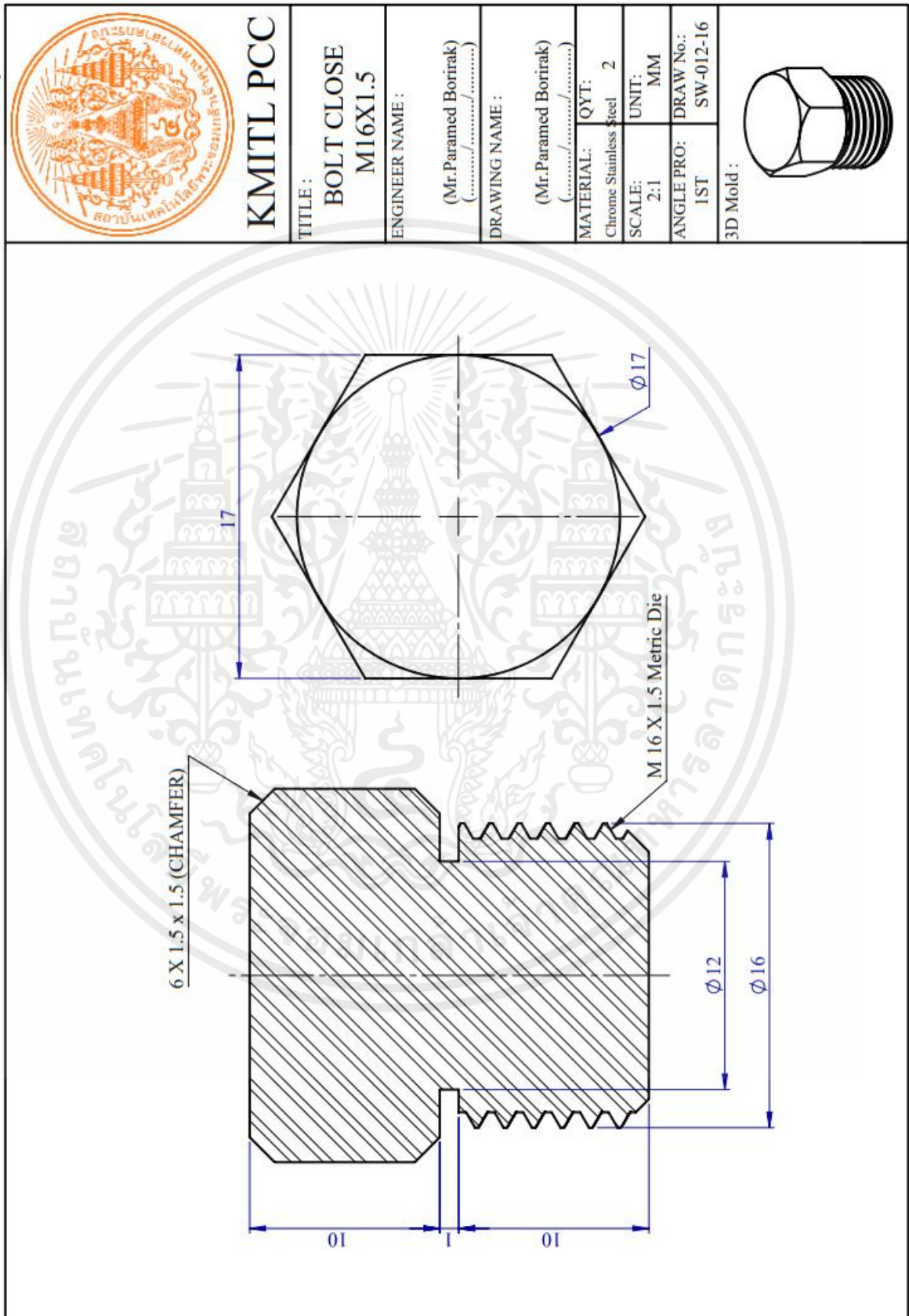
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




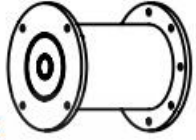
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

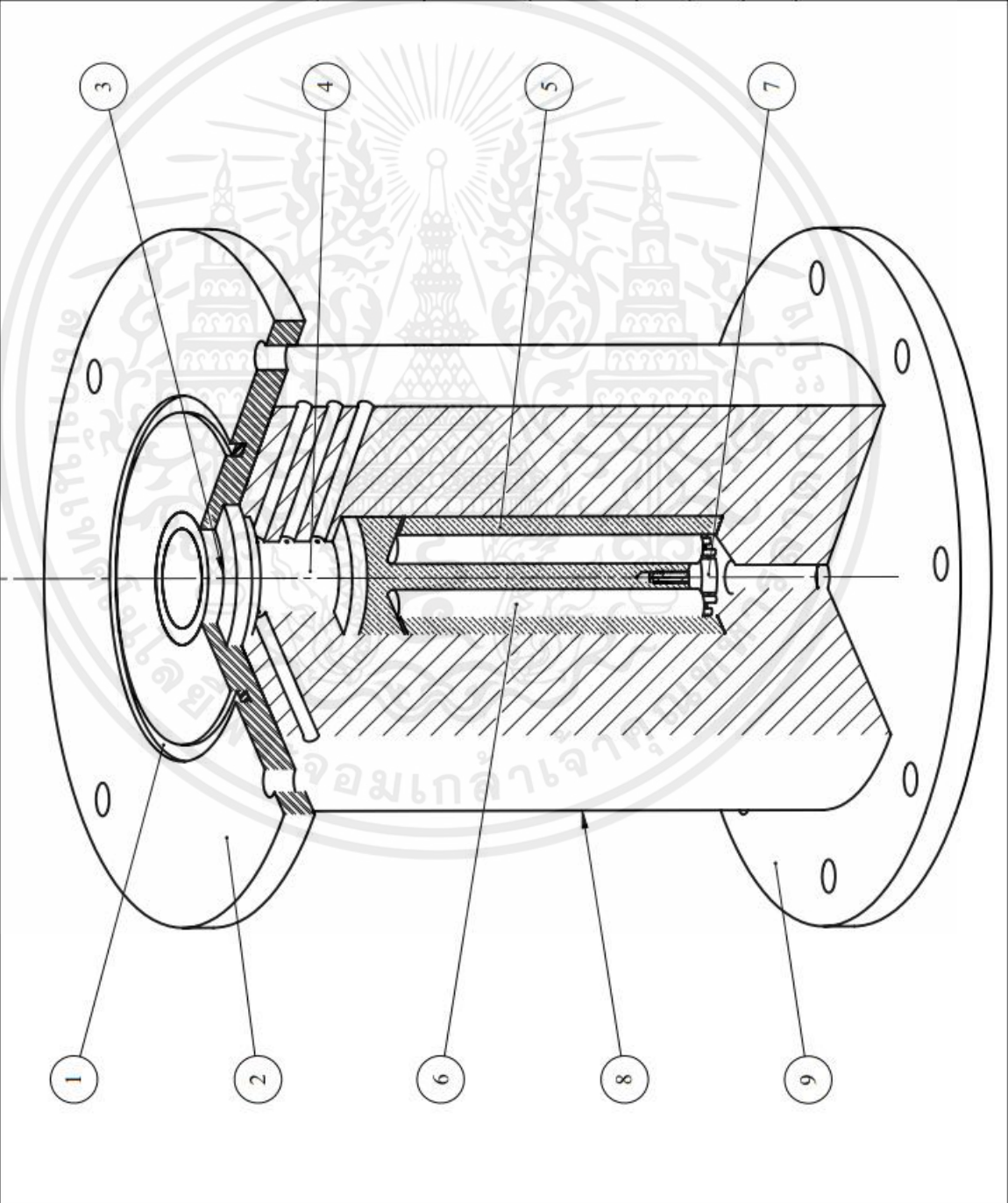


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


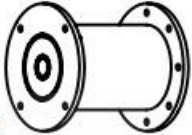
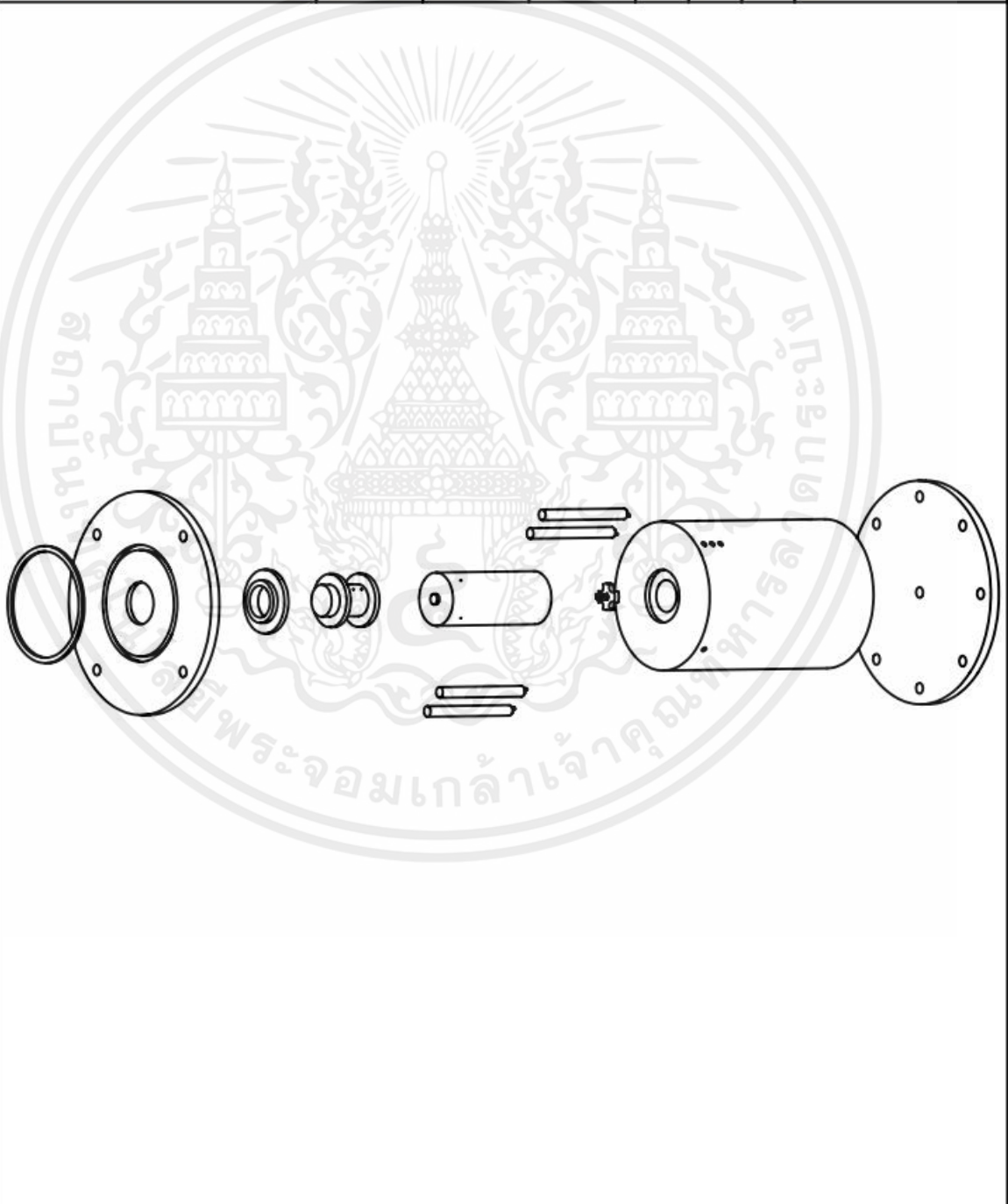


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


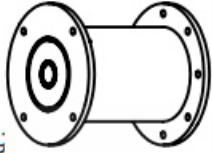
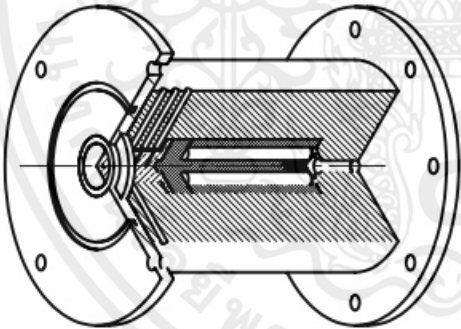
	KMITL PCC
TITLE: BALLOON ASSEMBLY HEATING	
ENGINEER NAME : (Mr. Paramed Bortrak)	
DRAWING NAME : (Mr. Paramed Bortrak)	
MATERIAL:	QYT: 1
SCALE: 1:20	UNIT: MM
ANGLE PRO: 1ST	DRAW No.: SW-013-1
3D Mold :	
	





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

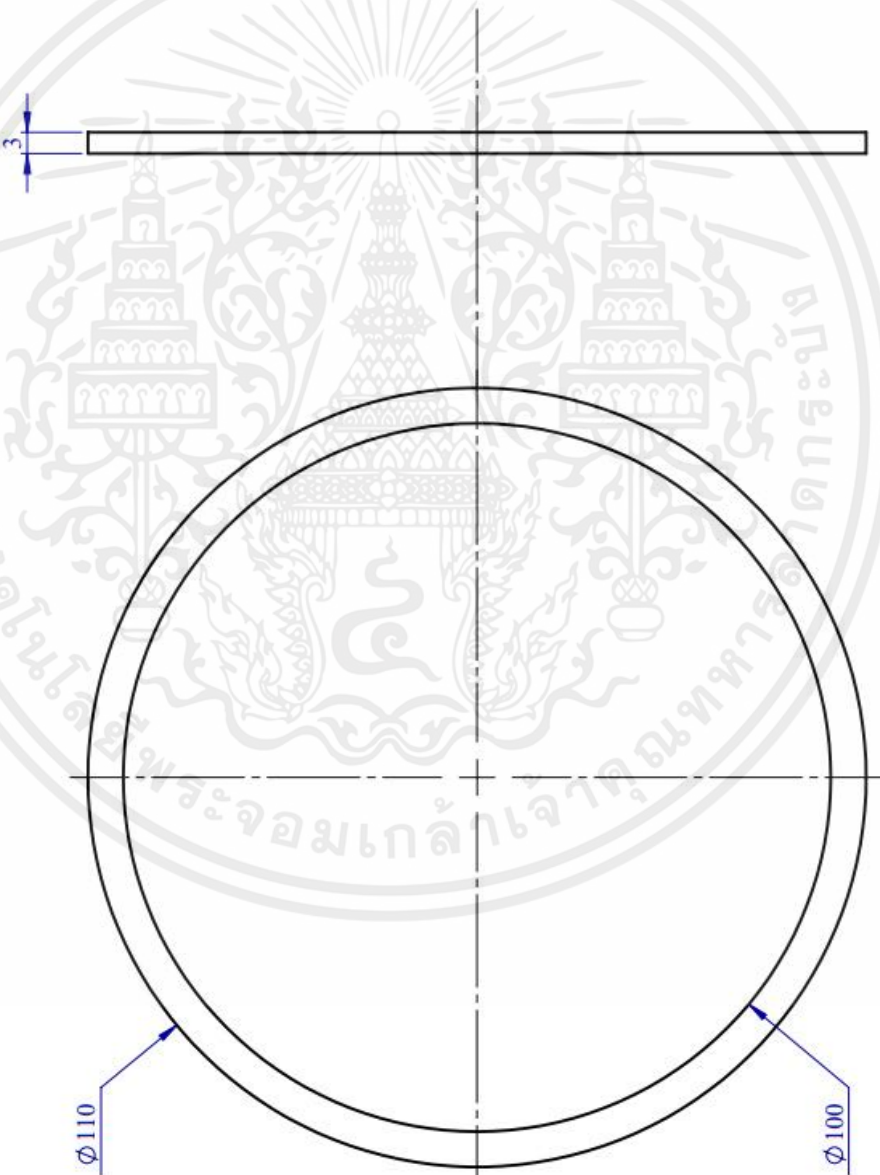
		KMITL PCC	
TITLE: EXPLODED ASSEMBLY HEATING			
ENGINEER NAME : (Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)			
DRAWING NAME : (Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)			
MATERIAL:	QYT:	1	
SCALE:	UNIT:	MM	
ANGLE PRO:	DRAW No.:	SW-013-2	
1ST	3D Mold :		
			
			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

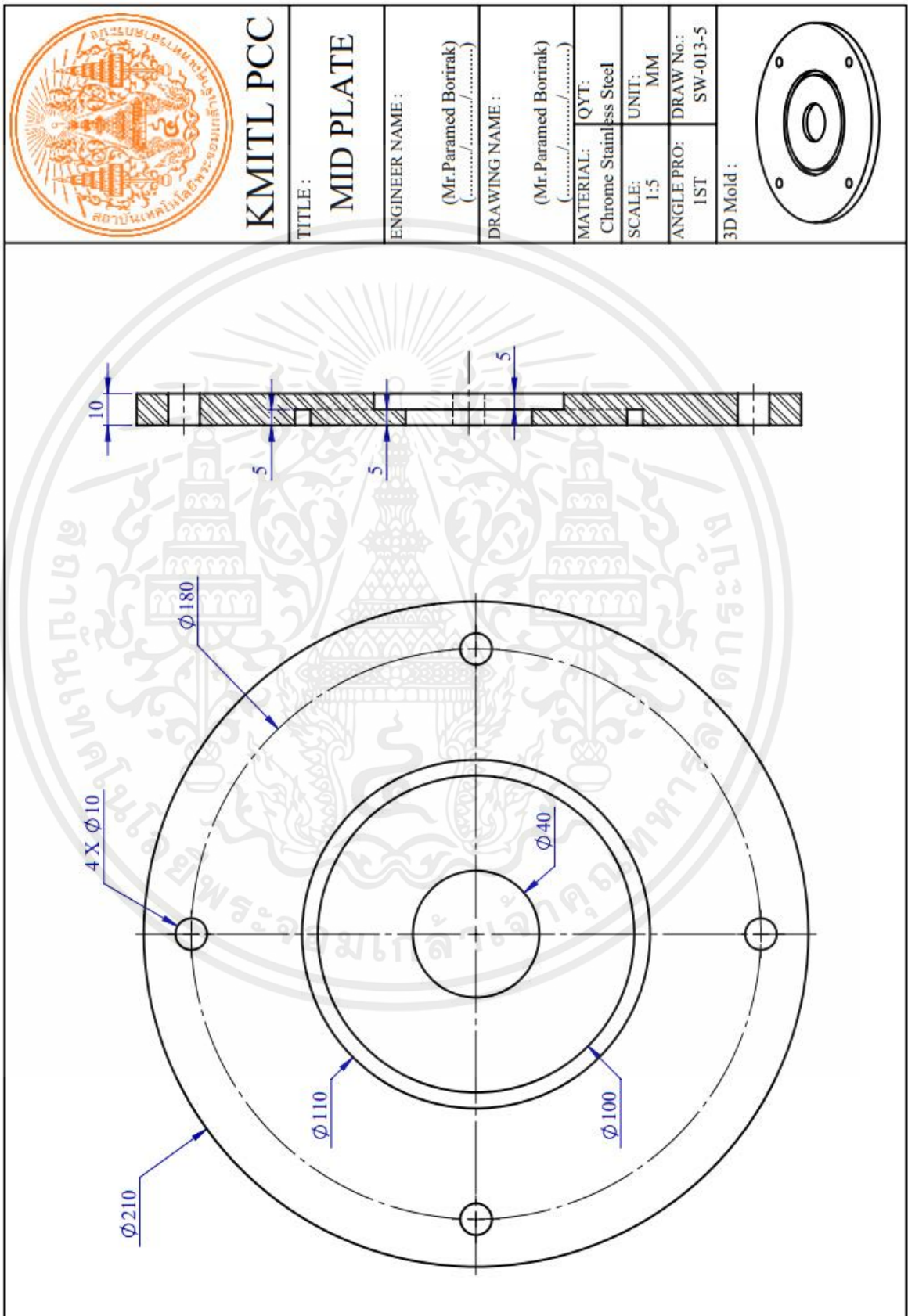
 KMITL PCC		TITLE: PART LIST ASSEMBLY HEATING		ENGINEER NAME : (Mr.Paramed Bortrak) (...../...../.....)		DRAWING NAME : (Mr.Paramed Bortrak) (...../...../.....)		MATERIAL: QYT: 1		SCALE: 1:5 UNIT: MM		ANGLE PRO: IST DRAW No.: SW-013-3		3D Mold : 	
NO.	TITLE	QTY.	DRAW-NO.	STANDAED											
1	RUBER SEAL	1	SW-013-4	-											
2	MID PLATE	1	SW-013-5	-											
3	TEFLON SEAL	1	SW-013-6	-											
4	TEST SECTION	1	SW-013-7	-											
5	CYLINDRICAL BODY HEATING	1	SW-013-8	-											
6	CARTRIDGE HEATER	4	SW-013-9	-											
7	HEATER LOCK	1	SW-013-10	-											
8	INSULATION	1	SW-013-11	-											
9	BOTTOM PLATE	1	SW-013-12	-											

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


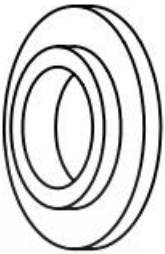
		KMITL PCC	
		TITLE: RUBER SEAL	
ENGINEER NAME : (Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)		DRAWING NAME : (Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)	
MATERIAL: Rubber	QYT: 1	SCALE: 1:2	UNIT: MM
ANGLE PRO: 1ST	DRAW No.: SW-013-4		
3D Mold : 			

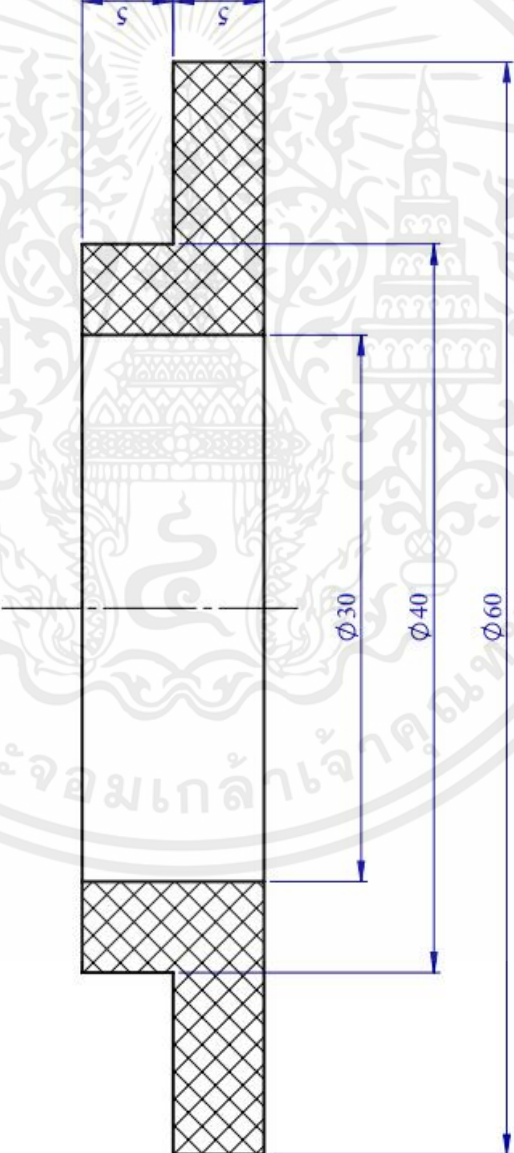


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

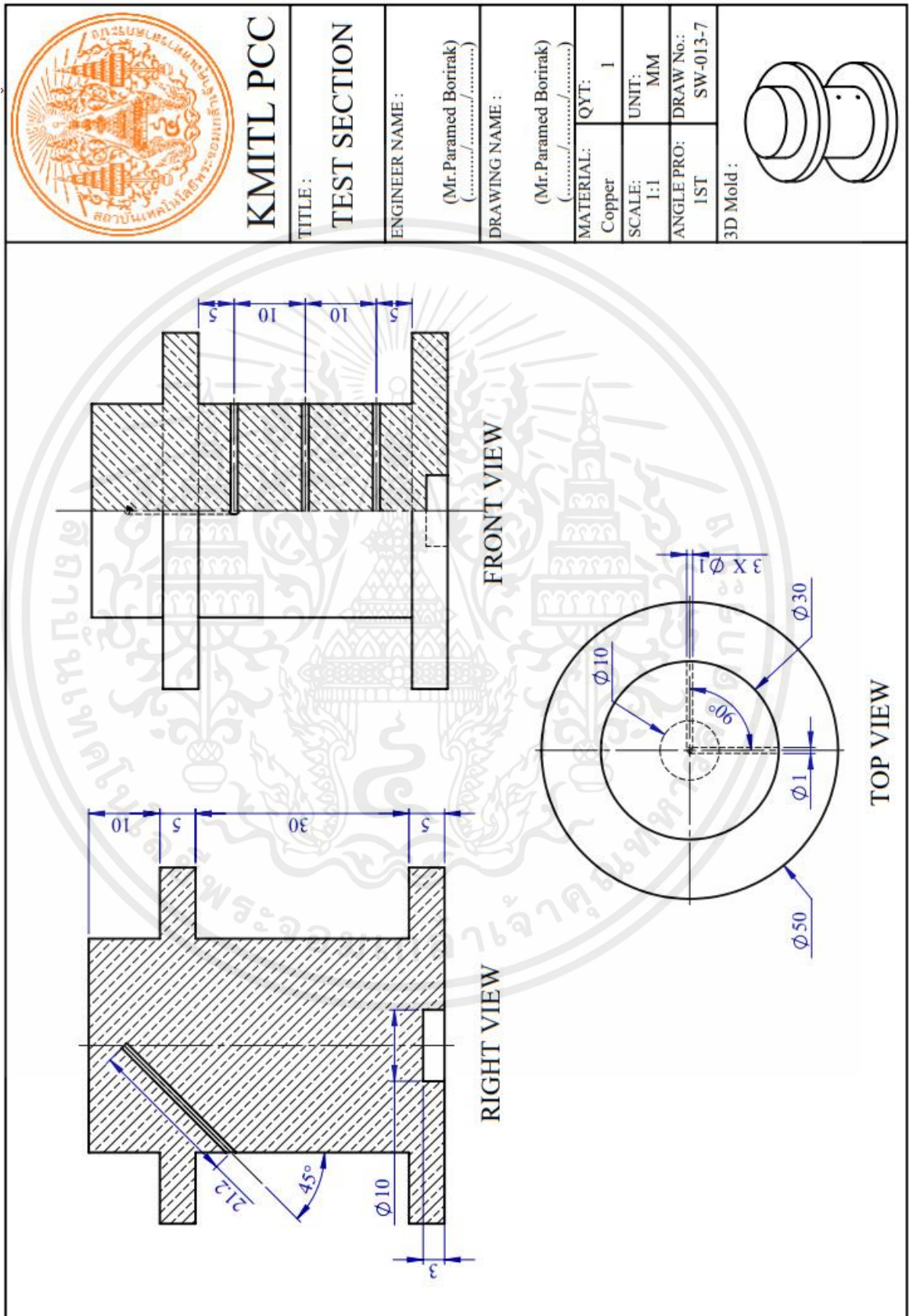


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

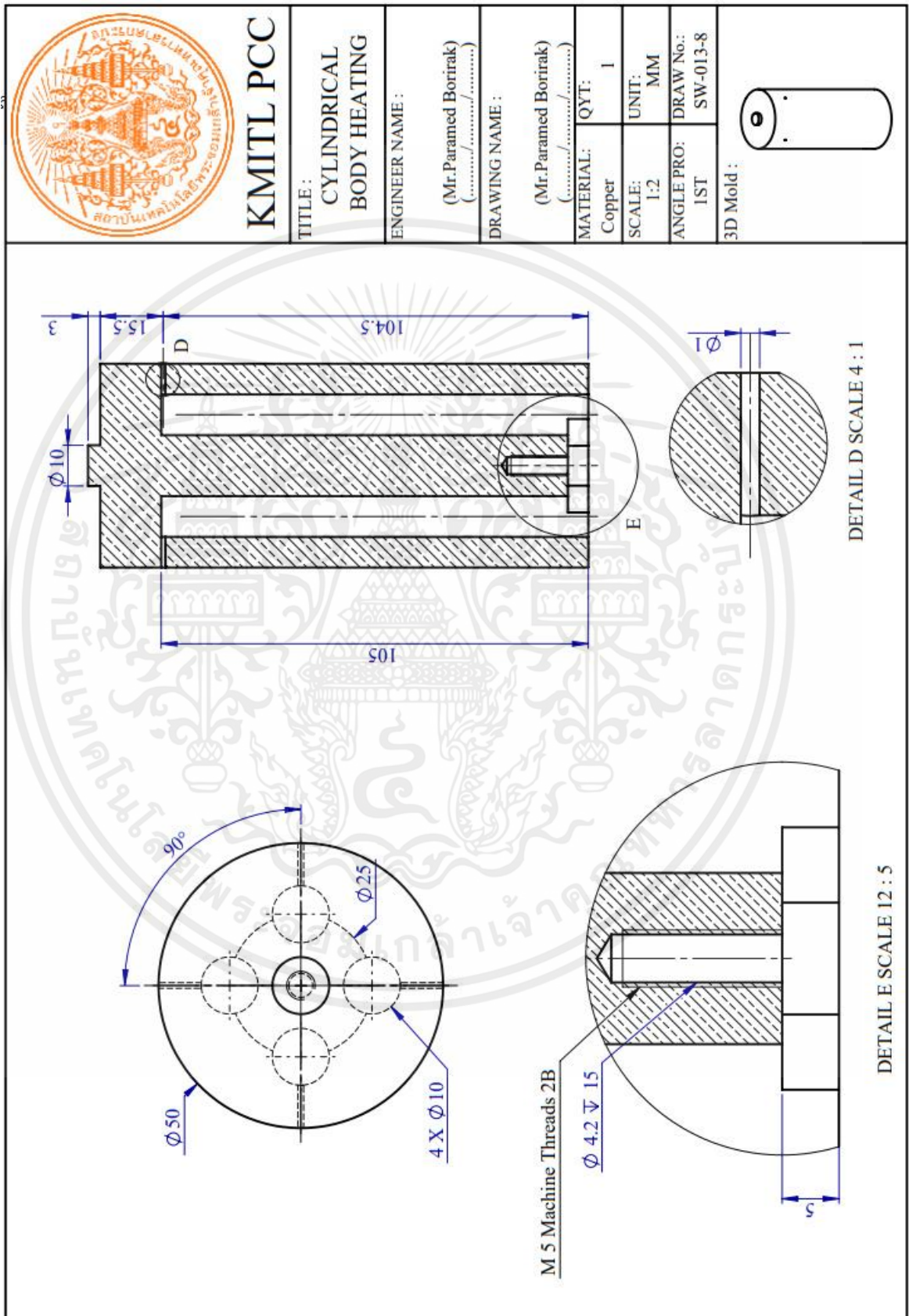
		KMITL PCC	
		TITLE: TEFLON SEAL	
ENGINEER NAME:		(Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)	
DRAWING NAME:		(Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)	
MATERIAL:	QTY:		
PE High Density	1		
SCALE:	UNIT:		
1:1	MM		
ANGLE PRO:	DRAW No.:		
1ST	SW-013-6		
3D Mold:			





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

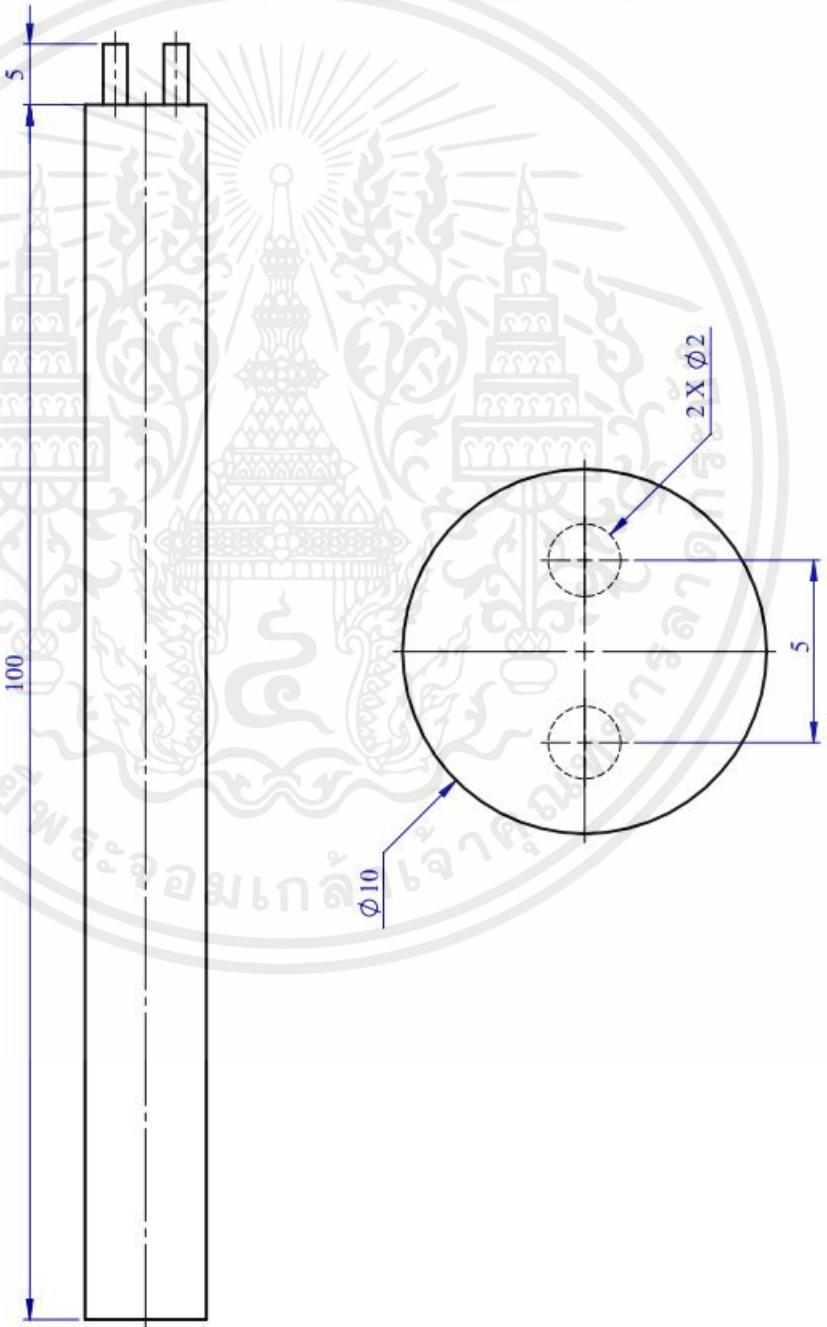


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

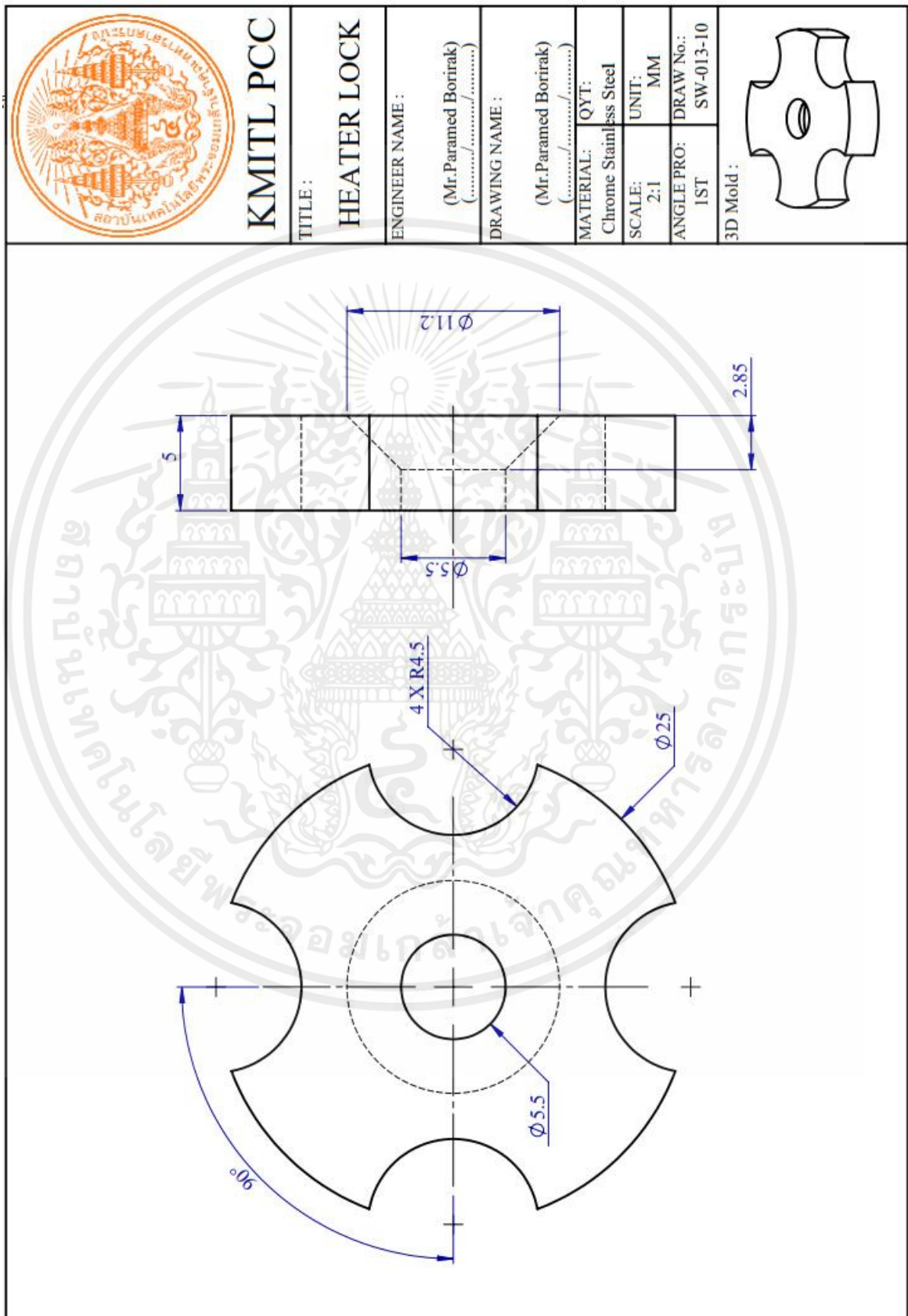


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

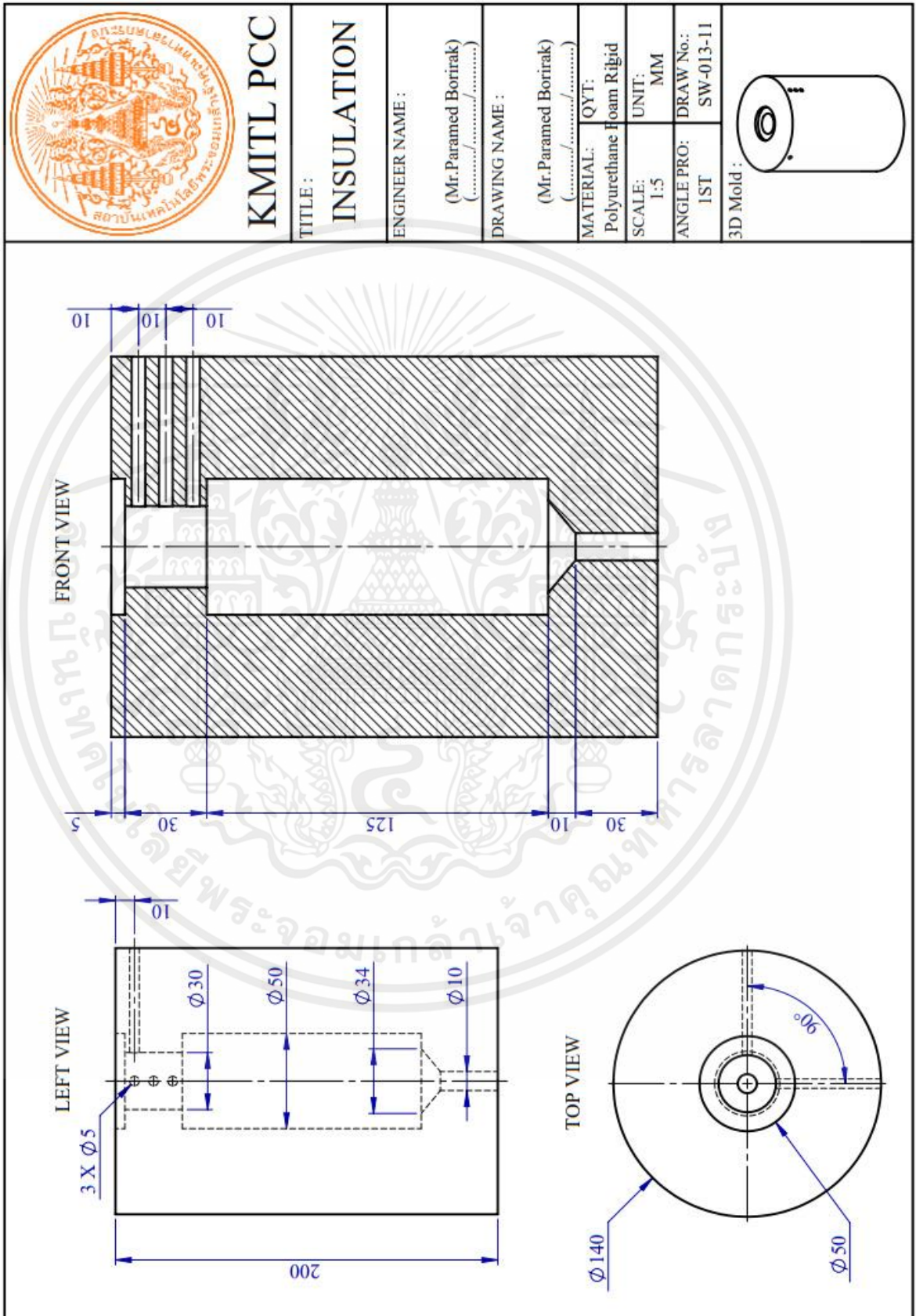
	KMITL PCC	TITLE: CARTRIDGE HEATER
		ENGINEER NAME: (Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)
DRAWING NAME: (Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)		MATERIAL: QYT: Chrome Stainless Steel 4
		SCALE: 1:1 UNIT: MM
		ANGLE PRO: DRAW No.: 1ST SW-013-9
		3D Mold: 



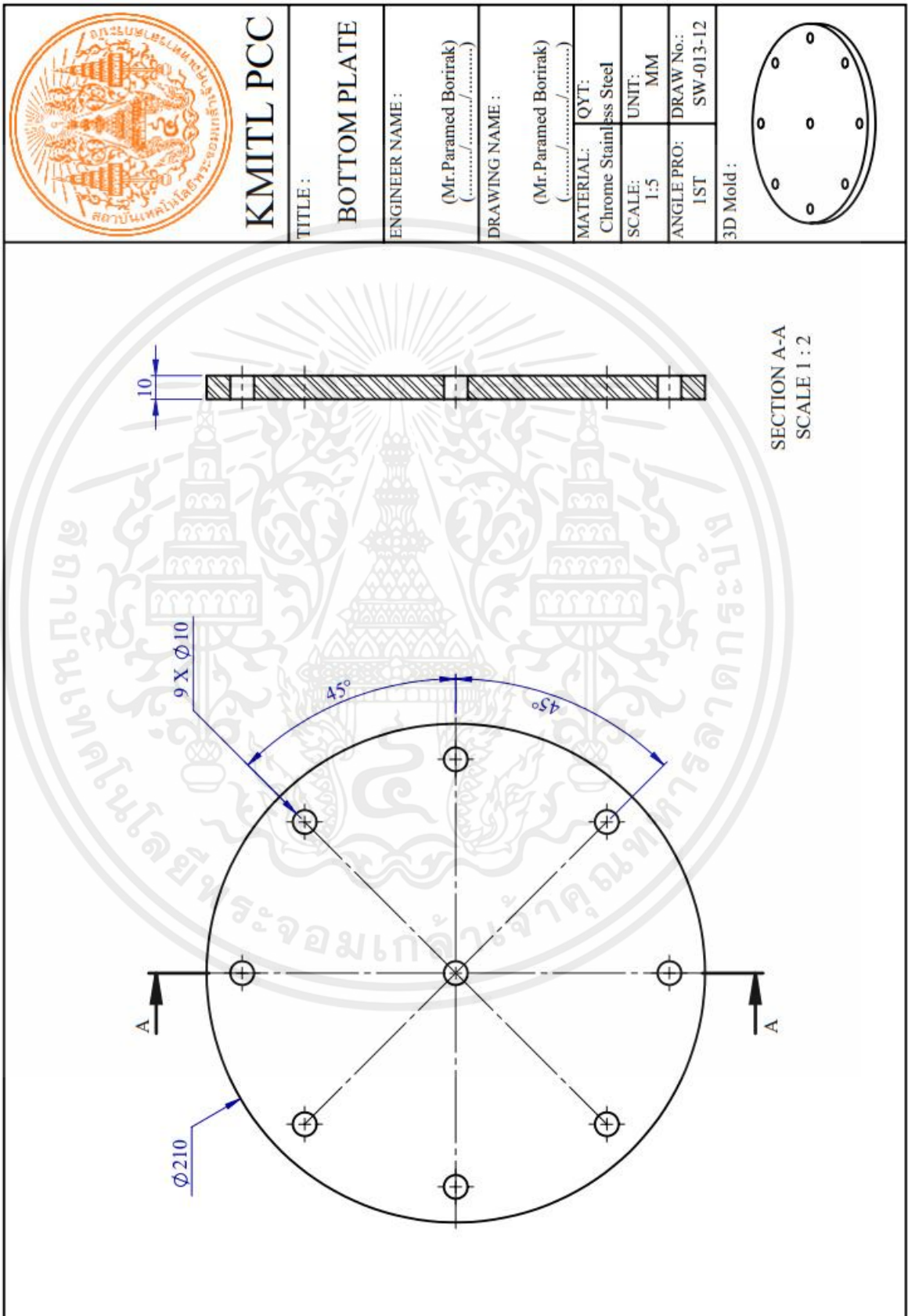
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



	KMITL PCC
TITLE: BALLOON ASSEMBLY DOWNROD	
ENGINEER NAME : (Mr. Paramed Bortrak) (...../...../.....)	
DRAWING NAME : (Mr. Paramed Bortrak) (...../...../.....)	
MATERIAL:	QYT: 1
SCALE: 1:10	UNIT: MM
ANGLE PRO: 1ST	DRAW No.: SW-014-1
3D Mold : 	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

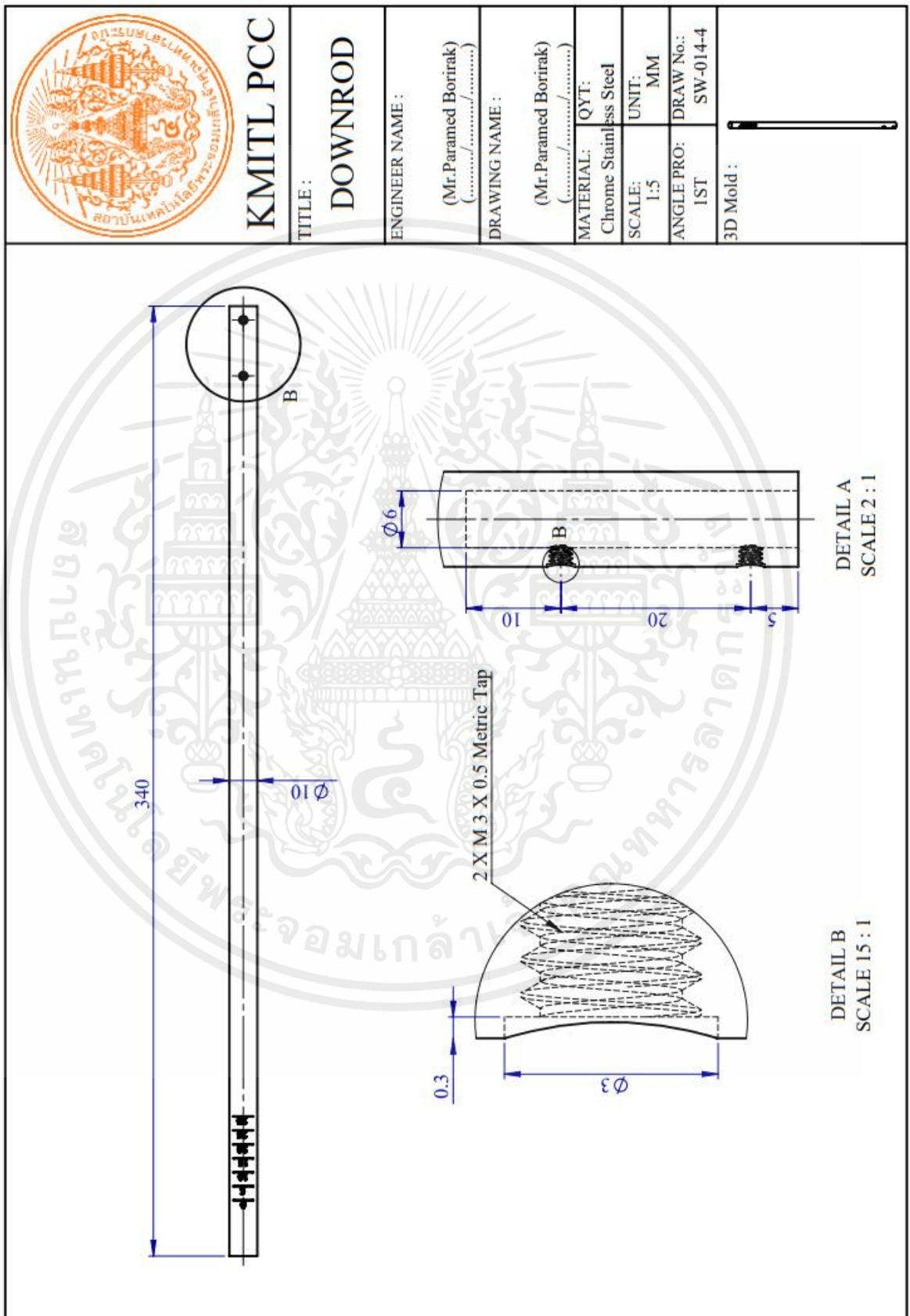
		KMITL PCC	
TITLE :EXPLODED ASSEMBLY DOWNROD			
ENGINEER NAME : (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)			
DRAWING NAME : (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)			
MATERIAL:	QYT:	1	
SCALE:	UNIT:	MM	
ANGLE PRO:	DRAW No.:	SW-014-2	
1ST	3D Mold:		
			
			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

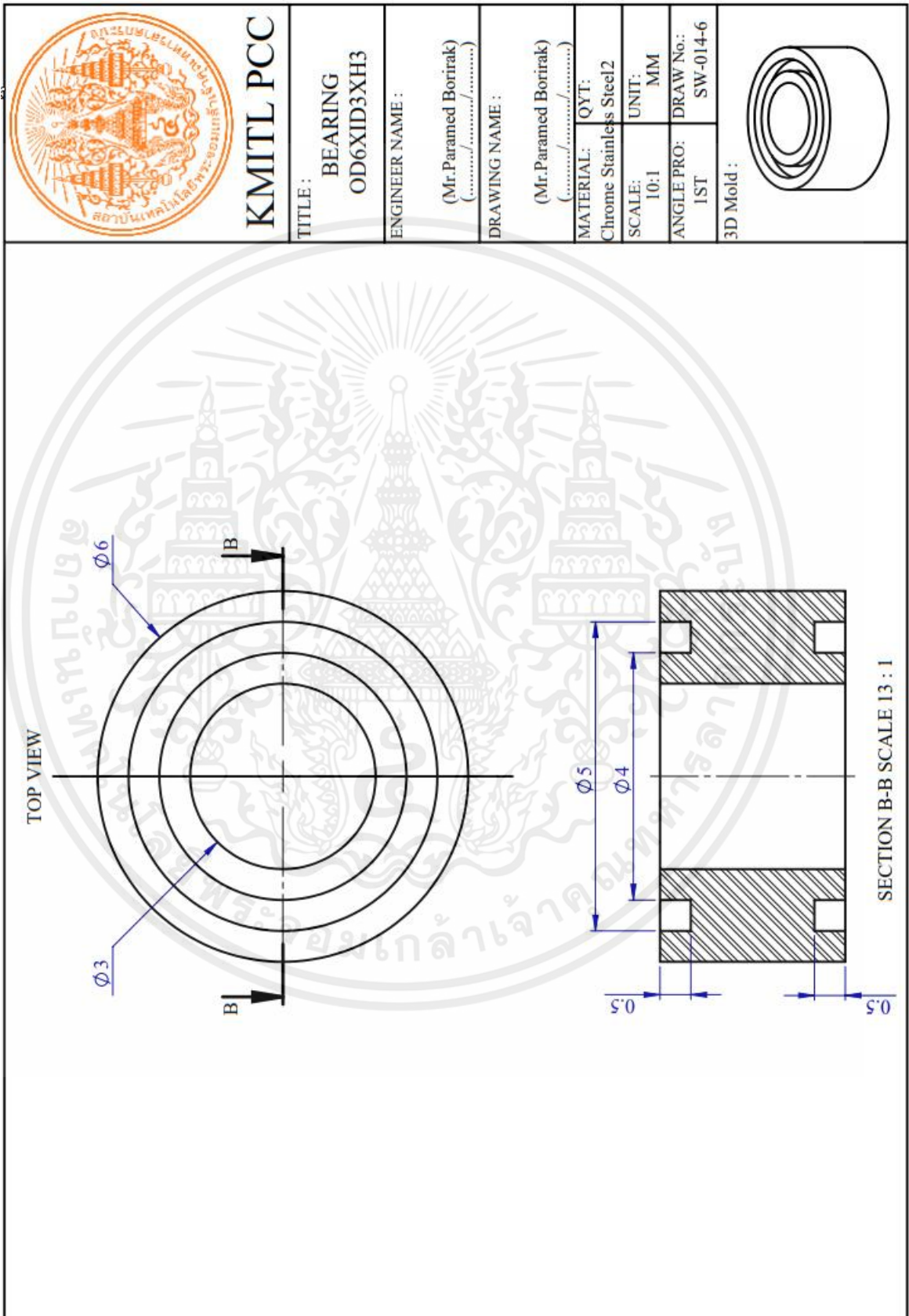
No.	TITLE	QTY.	DRAW-NO.	STANDAED
1	DOWNROD	1	SW-014-4	-
2	ROTOR	1	SW-014-5	-
3	BEARING OD6XID3XH3	2	SW-014-6	-
4	ROTARING BLADE	1	SW-014-7	-
5	NUT M3 X 0.5	1	-	ISO - 4035 - M3 - S
6	BOLT M 3 X 0.5	2	-	ISO 4026 M3
7	LOCK WASHER	3	-	DIN-6799 -1.5

		KMITL PCC	
		TITLE: PART LIST ASSEMBLY DOWNROD	
ENGINEER NAME : (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)		DRAWING NAME : (Mr.Paramed Borirak) (...../...../.....)	
MATERIAL:		QYT: 1	
SCALE: 1:10		UNIT: MM	
ANGLE PRO: 1ST		DRAW No.: SW-014-3	
3D Mold : 			



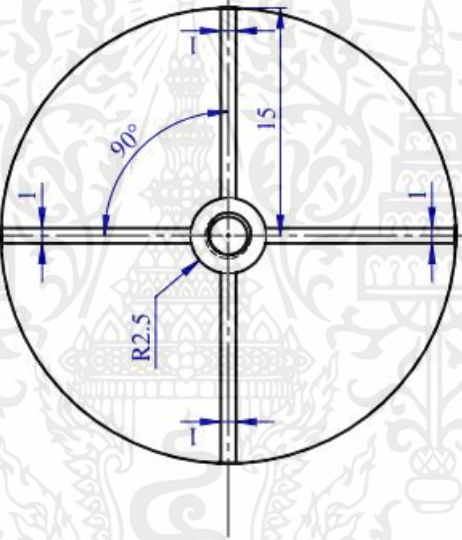
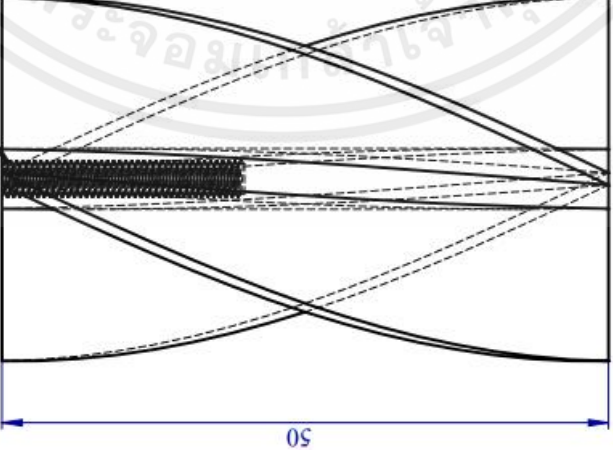
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

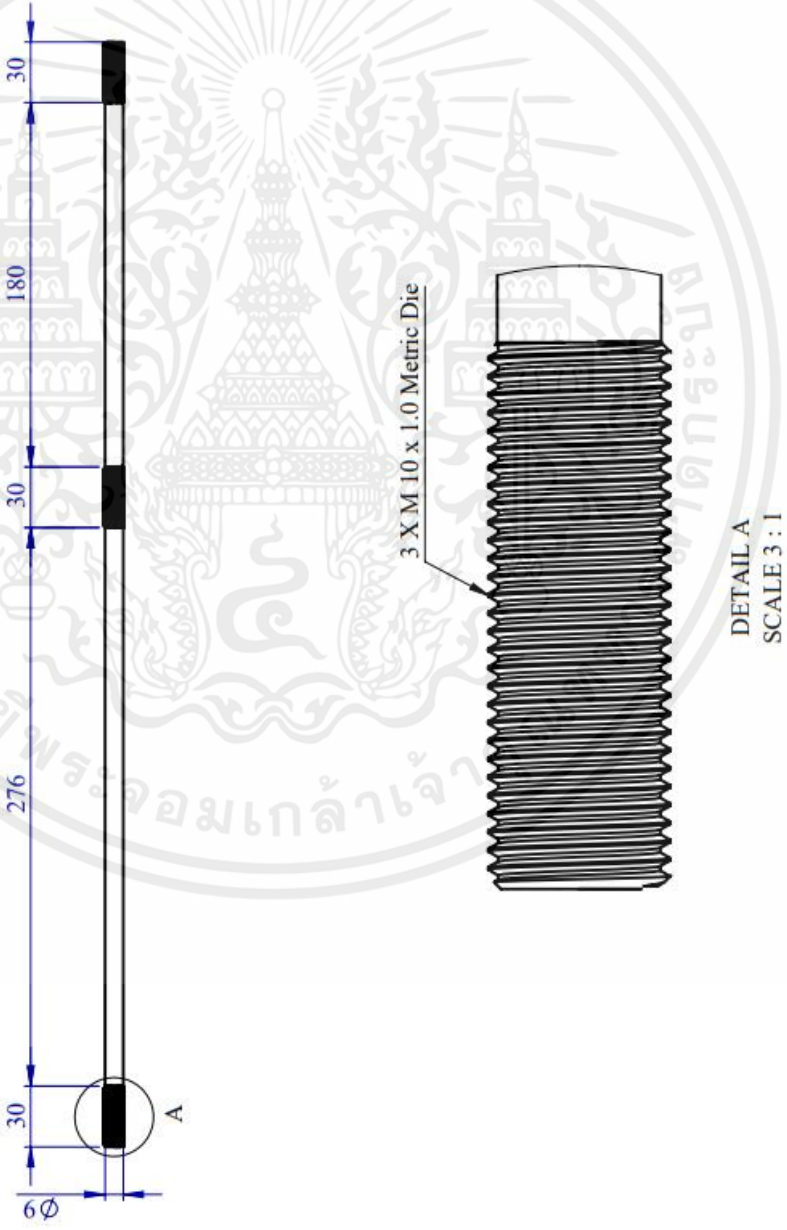


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	KMITL PCC	TITLE: ROTARING BLADE	ENGINEER NAME : (Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)	DRAWING NAME : (Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)	MATERIAL: QYT: Material <not specified>	SCALE: 1:1 UNIT: MM	ANGLE PRO: 1ST DRAW No.: SW-014-7	
 <p style="text-align: center;">TOP VIEW</p>		 <p style="text-align: center;">BACK VIEW</p>		SWEEP OPTIONS				
PROFILE ORIENTATION Follow Path	PROFILE TWIST Specify Twist	TWIST CONTROL Revolutions	DIRECTION 0.25					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



	<h2 style="margin: 0;">KMITL PCC</h2>
<p>TITLE: STUD M 10 X 1.0</p>	
<p>ENGINEER NAME : (Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)</p>	
<p>DRAWING NAME : (Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)</p>	
MATERIAL:	QYT:
Chrome Stainless Steel	4
SCALE:	UNIT:
1:5	MM
ANGLE PRO:	DRAW No.:
1ST	SW-015
<p>3D Mold :</p> 	

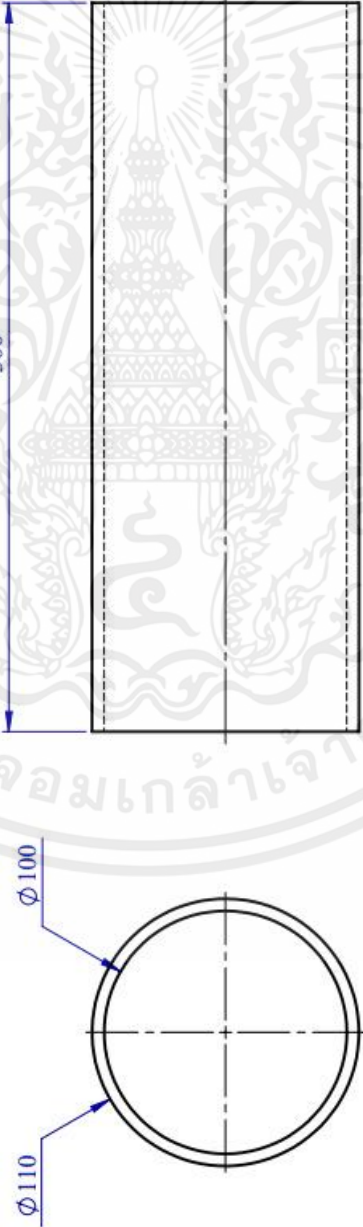


3 X M 10 x 1.0 Metric Die

DETAIL A
SCALE 3 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		KMITL PCC	
TITLE: CYLINDRICAL GLASS			
ENGINEER NAME : (Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)			
DRAWING NAME : (Mr. Paramed Borirak) (...../...../.....)			
MATERIAL: Glass	QTY: 1		
SCALE: 1:5	UNIT: MM		
ANGLE PRO: 1ST	DRAW No.: SW-016		
3D Mold :			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นายปารเมศ บริรักษ์
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 12 พฤศจิกายน พ.ศ. 2541
 ภูมิลำเนา จังหวัดพัทลุง
 ที่อยู่ เลขที่ 109 หมู่ 3
 ตำบลบ้านนา อำเภอศรีนครินทร์
 จังหวัดพัทลุง 93000

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง จังหวัดพัทลุง ปีการศึกษา 2561
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
จังหวัดชุมพร ปีการศึกษา 2564

ผลงานและกิจกรรม

- ได้ผ่านการแข่งปฏิบัติการและได้ระดับคะแนนดีเยี่ยมด้านการ
ใช้โปรแกรม SolidWorks ช่วยในการออกแบบทางด้าน
วิศวกรรมเครื่องกล
- ได้เข้าร่วม การแข่งขันทักษะ สาขาวิชาช่างยนต์ ระดับภาคใต้
ประจำปีการศึกษา 2559
- ผ่านการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหลักสูตรประกาศนียบัตร
วิชาชีพชั้นสูง กองช่าง - องค์การบริหารส่วนจังหวัดพัทลุง
พัทลุง ประจำปี 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นายสุทธิรักษ์ อ่อซ้าย
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2541
 ภูมิลำเนา จังหวัดพัทลุง
 ที่อยู่ เลขที่ 35 หมู่ 1
 ตำบลบ้านนา อำเภอศรีนครินทร์
 จังหวัดพัทลุง 93000

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง จังหวัดพัทลุง ปีการศึกษา 2561
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
จังหวัดชุมพร ปีการศึกษา 2558

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหลักสูตรประกาศนียบัตร
วิชาชีพชั้นสูง บริษัท สยามนิสสัน พัทลุง ประจำปี 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นายปวเรศ ช้วนเล่ง
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2540
 ภูมิลำเนา ประจวบคีรีขันธ์
 ที่อยู่ เลขที่ 124/7 หมู่ 1 ตำบลช้างแรง
 อำเภอบางสะพานน้อย
 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77170

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
- วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ปีการศึกษา 2560
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ปีการศึกษา 2564

ผลงานและกิจกรรม

- ได้ผ่านการฝึกงานในตำแหน่ง ผู้ช่วยวิศวกรซ่อมบำรุง โรงงาน 1 และโรงงาน 4 จากบริษัท ซีเฟรชอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) จังหวัดชุมพร ประจำปี 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้