



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ลักษณะเฉพาะของการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดสำหรับพื้นผิววัสดุทางเลือกใหม่

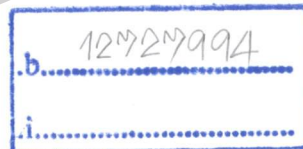
“ไมโครพอร์สมีเดีย”

Boiling Heat Transfer Characteristics for the New Alternative Surface Materials “Microporous Media”

นายอดิเรก สุริยะวงศ์
นายศิระ สายศรี

RDH
01270
2556

สาขา.....
เลขทะเบียน 139827
วันเดือนปี 1 8 ๗๖ 2558



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ ลักษณะเฉพาะของการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดสำหรับพื้นผิววัสดุทางเลือกใหม่
“ไมโครพอร์สมีเดีย”

แหล่งเงิน งบประมาณรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 499,600 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2557

หัวหน้าโครงการ นายอดิเรก สุริยะวงศ์

ผู้ร่วมโครงการ ดร. ศิริระ สายคร และ หน่วยงานต้นสังกัด วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำกลั่น โดยที่พื้นผิวให้ความร้อนเป็นครีบยาวขนาดเล็กทำจาก Copper, Brass และ Aluminum มีลักษณะเป็นวงกลมวางในแนวราบ บนพื้นผิวให้ความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ในการทดลองได้ศึกษาผลของความสูงของ Copper mini-fin, Brass mini-fin และ Aluminum mini-fin ที่มีผลต่อนucleate pool boiling curve และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ความดันบรรยากาศจากผลการทดลองของการติดตั้ง Copper mini-fin, Brass mini-fin และ Aluminum mini-fin บนพื้นผิวให้ความร้อน จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าเมื่อเทียบกับ Non fin เนื่องจากมีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้นเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ดังนี้ Copper mini-fin ที่ความสูงของ fin 2 mm Copper มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 32.0% และ Copper มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่า Aluminum เท่ากับ 11.4 % และ Aluminum มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 18.4 % ที่ความสูงของ fin 4 mm Copper มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 40.1 % และ Copper มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่า Aluminum เท่ากับ 14.0 % และ Aluminum มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 22.8 % ที่ความสูงของ fin 6 mm Copper มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 40.5 % และ Copper มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่า Aluminum เท่ากับ 14.5% และ Aluminum มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass และการทดลองได้ศึกษาผลของวัสดุพื้นผิวให้ความร้อนผลการทดลองพบว่าเมื่อเทียบที่ค่า heat flux เดียวกัน ค่า heat transfer coefficient ของที่ความสูงของ fin 2 4 และ 6 mm. เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ Non fin ที่ความสูงของ fin 2 mm. ของพื้นผิวให้ความร้อนเป็นแบบ Copper mini-fin, Brass mini-fin และ Aluminum mini-fin เพิ่มขึ้นตามลำดับ ที่ความสูงของ fin 4 mm. ของพื้นผิวให้ความร้อนเป็น Copper mini-fin, Brass mini-fin และ Aluminum mini-fin เพิ่มขึ้นตามลำดับ ที่ความสูงของ fin 6 mm. ของพื้นผิวให้ความร้อนเป็น Copper mini-fin ,Brass mini-fin และ Aluminum mini-fin เพิ่มขึ้นตามลำดับ จากการทดลองวัสดุพื้นผิวให้ความร้อนที่ทำจาก Copper ประสิทธิภาพมากกว่าวัสดุจาก Brass และ Aluminum เนื่องจาก Copper มีค่าสภาพนำความร้อนสูงกว่า Brass และ Aluminum

คำสำคัญ: การเพิ่มการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนสองสถานะ การเดือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Research Title: Boiling Heat Transfer Characteristics for the New Alternative Surface Materials "Microporous Media"

Research: Mr. Adirek Suriyawong and Dr. Sira Saisorn

Faculty: Prince of Chumphon Campus **Department:** Engineering

ABSTRACT

This research was to study the characteristics of nucleate pool boiling heat transfer of distilled water. The surface is a mini-fin heat made from Copper, Brass and Aluminum used as heating surfaces and Copper mini-fin, Brass mini-fin and Aluminum mini-fin. Surface heated to enhance heat transfer. Experiments to study the effects of height Copper mini-fin, Brass mini-fin and Aluminum mini-fin affecting nucleate pool boiling curve and the heat transfer coefficient at atmospheric pressure. The results of the installation Copper mini-fin, Brass mini-fin and Aluminum mini-fin heat transfer surface array. The heat transfer coefficient is higher when compared to Non fin because heat transfer area increased heat transfer efficiency is increased, follow. The Copper mini-fin height 2 mm Copper heat transfer efficient that much Brass equals to 32.0% Copper heat transfer efficient that much Aluminum is 11.4% Aluminum heat transfer efficient that much Brass equal to 18.4. fin. at fin height 4 mm Copper heat transfer efficient that much Brass equals 40.1% Copper heat transfer efficient that much Aluminum is 14.1% Aluminum heat transfer efficient that much Brass equal to 22.8 % at fin height 6 mm Copper heat transfer efficient that much Brass equals 40.5% Copper heat transfer efficient that much Aluminum is 14.5% Aluminum heat transfer efficient that much Brass equal to 22.6 %. And experimental study of the surface material to heat results showed that compared to the heat flux with the heat transfer coefficient of the fin at a height of fin 2, 4 and 6 mm. Increased compared to Non fin. at a height of fin 2 mm. surface to heat a Copper mini-fin, Brass mini-fin and Aluminum mini-fin rose to 11.4% , 18.4%, and 32% respectively, at a height of fin 4 mm. surface to heat a Copper mini-fin, Brass mini-fin and Aluminum mini-fin added. up to 14% , 22.8 % and 40.1% respectively, at a height of fin 6 mm. surface to heat a Copper mini-fin , Brass mini-fin and Aluminum mini-fin rose 14.5% 22.6% and 40.5% respectively. The experimental material surfaces to their needs. heating made of Copper, Brass and Aluminum of more efficient materials. Because Copper has a high thermal conductivity than Brass and Aluminum.

Keywords: Heat transfer enhancement, Two-phase heat transfer, Boiling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากท่านรักษาการแทนรองอธิบดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เผชญชัยภักดิ์ ไชยสิทธิ์ คณะกรรมการวิจัย เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัย เจ้าหน้าที่พัสดุ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงิน ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทั้งกรุงเทพฯ และวิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อติเรก สุริยวงค์
ศิระ สายศร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
รายการสัญลักษณ์	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานและการคำนวณ	5
3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการเดือด	5
3.2 การเดือด (Pool boiling)	6
3.2.1 การเกิดฟองของ Pool boiling	7
3.2.2 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection)	7
3.2.3 Nucleate boiling	7
3.2.4 ฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ (Critical heat flux)	9
3.2.5 Transition boiling	10
3.2.6 Film boiling	11
3.3 การคำนวณ	12
3.3.1 การคำนวณฟลักซ์ความร้อน	12
3.3.2 การคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวให้ความร้อน	13
3.3.3 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบ pool boiling	13
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	14
4.1 อุปกรณ์การทดลอง	14
4.1.1 ระบบไฟฟ้า	14
4.1.2 ระบบ pool boiling	15
4.1.3 ระบบระบายความร้อน	15
4.1.4 ระบบวัดอุณหภูมิ	16
4.2 ขั้นตอนการทดลอง	16
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	17
5.1 เทียบสอบอุปกรณ์การทดลอง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
5.2 ผลของ Fin materials ที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	18
5.3 ผลของ Fin high ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน	24
5.4 การถ่ายเทความร้อนใน 1 มิติ	28
5.5 ปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Non fin, Copper mini-fin, Brass mini-fin and Aluminum mini-fin บนพื้นผิวให้ความร้อน	28
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ	65
6.1 สรุป	65
6.2 ข้อควรระวังในงานวิจัย	66
6.3 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางค่าต่างๆ	71
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง Micro pin fin	76
ภาคผนวก ค อุปกรณ์การทดลอง	99
ภาคผนวก ง สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย	103
ประวัติผู้วิจัย	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ก.1 ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำ	72
ก.2 แสดงค่าคงที่ของ Rohsnow's correlation (1952)	73
ก.3 แสดงค่าคงที่ของ Zuber (1958)	74
ก.4 แสดง Empirical correlations สำหรับ Average Nusselt number ของการพาความร้อนแบบธรรมชาติ [8]	75
ง.1 สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย	104



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 Nucleate boiling ใน (a) Pool boiling (b) Flow boiling	6
3.2 Pool boiling curve การเดือดของน้ำที่ความดันบรรยากาศ	6
3.3 รูปแบบการเกิดฟอง	7
3.4 Nucleate boiling	8
3.5 ตารางของ $C_{s,f}$ สำหรับของเหลวต่างๆบนพื้นผิว	9
3.6 แสดงลักษณะของ pool boiling ที่ฟลักซ์ความร้อนวิกฤต	9
3.7 ลักษณะของ pool boiling ในช่วงของ transition boiling	10
3.8 ลักษณะของ pool boiling ในช่วงของ film boiling	12
3.9 Nucleate pool boiling ในช่วงของ (a) Onset of nucleate boiling (b) Low heat fluxes (c) High heat fluxes	13
4.1 Schematic diagram ของอุปกรณ์การทดลอง	14
4.2 แสดงภาพตัดของชุดทดสอบ boiling	15
5.1 การเปรียบเทียบค่า heat flux ที่ได้จากการทดลองสหพันธ์ของ Rohsenow's และการทดลองของนักวิจัยท่านอื่น ๆ	18
5.2 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminum micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ผิวเรียบ	20
5.3 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminum micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ความสูง fin 2 mm.	21
5.4 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminum micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ความสูง fin 4 mm.	22
5.5 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminum micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ความสูง fin 6 mm.	23
5.6 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ความสูง fin 2, 4 และ 6 mm.	25
5.7 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Brass micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ความสูง fin 2, 4 และ 6 mm.	26
5.8 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Aluminum micro - porous fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ความสูง fin 2, 4 และ 6 mm.	27
5.9 การกระจาย temperature ตามแนวแกน สำหรับการทดลองบน Copper micro porous - fin 4 mm.	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
5.10 การกระจาย temperature ตามแนวแกน สำหรับการทดลองบน Copper micro porous - fin 4 mm.	29
5.11 การกระจาย temperature ตามแนวแกน สำหรับการทดลองบน Copper micro porous - fin 4 mm.	30
5.12 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด Non fin ครั้งที่ 3	31
5.13 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 1	32
5.14 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 2	33
5.15 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 3	34
5.16 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 1	35
5.17 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 2	36
5.18 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 3	37
5.19 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 1	38
5.20 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 2	39
5.21 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 3	40
5.22 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด Non fin ครั้งที่ 1	41
5.23 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด Non fin ครั้งที่ 2	42
5.24 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด Non fin ครั้งที่ 3	43
5.25 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 1	44
5.26 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 2	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
5.27 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 3	46
5.28 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 1	47
5.29 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 2	48
5.30 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 3	49
5.31 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 1	50
5.32 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 2	51
5.33 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 3	52
5.34 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด Non fin. ครั้งที่ 1	53
5.35 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด Non fin. ครั้งที่ 2	54
5.36 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด Non fin. ครั้งที่ 3	55
5.37 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 1	56
5.38 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 2	57
5.39 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 3	58
5.40 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 1	59
5.41 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 2	60
5.42 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 3	61
5.43 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 1	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
5.44 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 2	63
5.45 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 3	64
ข.1 การเปรียบเทียบค่า heat flux ที่ได้จากการทดลองสหพันธ์ของ Rohsenow's และการทดลองของนักวิจัยท่านอื่นๆ	77
ข.2 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper pin fin, Brass pin fin และ Aluminum pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ผิวเรียบ	79
ข.3 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper pin fin, Brass pin fin และ Aluminum pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่มีความสูง 2 mm.	80
ข.4 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper pin fin, Brass pin fin และ Aluminum pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่มีความสูง 4 mm.	81
ข.5 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper pin fin, Brass pin fin และ Aluminum pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่มีความสูง 6 mm.	82
ข.6 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่มีความสูง 2, 4 และ 6 mm.	84
ข.7 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Brass pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่มีความสูง 2, 4 และ 6 mm.	85
ข.8 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Aluminum pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่มีความสูง 2, 4 และ 6 mm.	86
ข.9 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Non Copper Pin Fin บนพื้นผิวให้ความร้อน	87
ข.10 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Copper pin fin ความสูง 2 mm. บนพื้นผิวให้ความร้อน	88
ข.11 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Copper pin fin ความสูง 4 mm. บนพื้นผิวให้ความร้อน	89
ข.12 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Copper pin fin ความสูง 6 mm. บนพื้นผิวให้ความร้อน	90
ข.13 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Non Brass pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อน	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ข.14 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Brass pin fin ความสูง 2 mm. บนพื้นผิวให้ความร้อน	92
ข.15 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Brass pin fin ความสูง 4 mm. บนพื้นผิวให้ความร้อน	93
ข.16 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Brass pin fin ความสูง 6 mm. บนพื้นผิวให้ความร้อน	94
ข.17 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Non-Aluminum pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อน	95
ข.18 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Aluminum pin fin ความสูง 2 mm. ไร้บนพื้นผิวให้ความร้อน	96
ข.19 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Aluminum pin fin ความสูง 4 mm. ไร้บนพื้นผิวให้ความร้อน	97
ข.20 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Aluminum pin fin ความสูง 6 mm. ไร้บนพื้นผิวให้ความร้อน	98
ค.1 ภาพชุดอุปกรณ์การทดลอง	100
ค.2 หลอดแก้วที่ภายในติดตั้ง Copper fin, Brass fin และ Aluminum fin เพื่อทำการทดลองการถ่ายเทความร้อนแบบ Pool boiling	100
ค.3 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าของอุปกรณ์ทดลอง	101
ค.4 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าได้	101
ค.5 ตัวแสดงค่าอุณหภูมิ (Temperature)	102
ค.6 ชั้นวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ทำจาก ทองแดง ทองเหลือง และ อลูมิเนียม	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมายสัญลักษณ์
A	พื้นที่ (m^2)
C_p	ความร้อนจำเพาะ พิจารณาที่ความดันคงที่ ($J/kg K$)
d	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2 K$)
h_{fg}	ความร้อนแฝงของการกลาย (J/kg)
I	กระแสไฟฟ้า (A)
k	การนำความร้อน ($W/m K$)
M	มวลโมเลกุล (Mol)
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
Nu	Nusselt number
P	ความดัน (N/m^2)
Pc	ความดันวิกฤต (N/m^2)
Pr	Prandtl number
\dot{Q}	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยเวลา (W)
q	ฟลักซ์ความร้อน (W/m^2)
R	ความขรุขระ (μm)
Re	Reynolds number
r	รัศมี (m)
T	อุณหภูมิ (K)
V	ศักย์ไฟฟ้า (V)
v	ความเร็ว (m/s)
ρ	ความหนาแน่น (kg/m^3)
σ	ความตึงผิว (N/m)
μ	ความหนืดจลน์ ($kg/m s$)
ε	Emissivity ของพื้นผิวให้ความร้อนตัวห้อยตัวยก
B	การเดือด (Boiling)
b	ฟอง
g	สถานะแก๊ส
l	สถานะของเหลว
sat	ของเหลวอิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากสภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันที่การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม และเทคโนโลยีด้านต่าง ๆ ที่นับวันจะดูเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในอนาคตคาดว่าจะการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง พลังงานและทรัพยากรก็ได้ถูกนำมาใช้อย่างสิ้นเปลือง ทำให้เกิดปัญหาตามมาตามมา เช่น ภาวะโลกร้อน ปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ซึ่งเราสามารถช่วยกันลดการเกิดภาวะโลกร้อนได้หลายวิธีด้วยกัน หลัก ๆ ก็เห็นจะเป็นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและประหยัดที่สุด เพราะพลังงานที่พวกเราใช้กันอยู่ทุกวันนี้กว่าจะมาถึงให้เราใช้ได้นั้น ต้องผ่านกระบวนการขั้นตอนในการผลิตมากมาย ซึ่งแต่ละขั้นตอนก็จะทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกขึ้นมา เพราะฉะนั้นการลดการใช้พลังงานก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดการเกิดภาวะโลกร้อนได้ เช่น การนำไอน้ำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือนำไอน้ำมาใช้ในกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ อื่น ๆ อีกมากมาย เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาค้นคว้าเพื่อที่จะพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญและเป็นอุปกรณ์ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงทำให้มีนักวิจัยเข้ามาทำการศึกษาและพัฒนา อุปกรณ์การถ่ายเทความร้อนทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่เพิ่มมากขึ้น และ pool boiling ก็เป็นการศึกษาถ่ายเทความร้อนรูปแบบหนึ่งที่ทำงานภายใต้สภาวะของการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ซึ่งการถ่ายเทความร้อนแบบการเปลี่ยนแปลงสถานะจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าการถ่ายเทความร้อนแบบสถานะเดียว ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าการถ่ายเทความร้อนแบบ pool boiling จึงเป็นวิธีที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานด้านอุตสาหกรรม ต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อการศึกษาคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนแบบ pool boiling ของ micro porous - fin heating surface

1.2.2 เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ pool boiling micro porous - fin heating surface

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศ

1.3.2 การทดลองจะใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงาน

1.3.3 พื้นผิวให้ความร้อนมีลักษณะเป็นแผ่นกลมวางในแนวระนาบและ micro porous - fin

1.3.4 micro porous - fin มีความสูง 2, 4 และ 6 mm.

1.3.5 วัสดุที่เป็น micro porous - fin ทำจากทองแดง ทองเหลือง และอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนแบบ pool boiling ของ micro porous - fin heating surface

1.4.2 ทราบถึงปรากฏการณ์ pool boiling ในขณะติดตั้ง micro porous - fin heating surface บนพื้นผิวที่ให้ความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนแบบ pool boiling ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้งานด้านอุตสาหกรรม จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา มีดังนี้

Pastuszko [1] ได้ศึกษาการทดลอง pool boiling โดยใช้ไมโครฟิน เป็นรูพรุนโครงสร้างตาข่ายมีขนาดความสูง 0.5 และ 1 mm. มีระยะห่างเท่าๆ กัน และบนผิวลวดตาข่ายมีรูรับแสงขนาด 0.32 0.4 และ 0.5 mm เปรียบเทียบกับไมโครฟินธรรมดาไม่มีโครงสร้างตาข่ายที่ฟลักซ์ความร้อน 30 kw/m^2 และ 50 kw/m^2 จากผลการทดลองไมโครฟินธรรมดาไม่มีโครงสร้างตาข่ายขนาด 1 mm แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุด

Parker and El-Genk [2] ได้ทำการศึกษาดทดลองอนุภาค nucleate โดยติดตั้งโฟมทองแดง ซิลิคอน และซิลิคอนไมโครคิวไว้บนพื้นผิวความร้อน มาทำการทดสอบกับสารขอระเหย FC-72 ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเดินทางระยะอนุภาคที่ไม่มีการเดือดของน้ำและค่าความร้อนในระบบอนุภาค nucleate จะถ่ายโอนการเดือดและค่าของความร้อนได้มากขึ้นในส่วนของการไหล

Yang et al. [3] ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนแบบ pool boiling โดยติดตั้งวัสดุพรุนทำจากทองแดงและเหล็กรูปทรงเรขาคณิต ไว้บนพื้นผิวให้ความร้อนแบบราบเรียบ ใช้น้ำเป็นสารทำงาน พบว่าเมื่อติดตั้งวัสดุพรุนไว้บนพื้นผิวให้ความร้อน ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับพื้นผิวแบบปกติ การเพิ่มของประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนแบบ pool boiling ขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของจุดเกิดฟอง การขยายตัวของพื้นที่ถ่ายเทความร้อนและความต้านทานการลอยขึ้นของไอในของเหลว

Pranoto et al [4] ได้ศึกษาการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพของ pool boiling โดยใช้วัสดุโครงสร้างรูพรุนของโฟมคาร์ไฟท์เป็นบล็อกและครีบ จากอัตราส่วน 3.70 และ 2.73 มาทดสอบกับสารระเหย FC-72 และ HFE-1000 “Pocoform” 61% และ “Kfoam” 78% เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 350 และ 500 mm. จากผลการทดลองพบว่ารูพรุนภายในของโฟมคาร์ไฟท์เป็นส่วนสำคัญเพื่อขยายความหนาแน่นและความร้อนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้สารระเหย โครงสร้างและชนิดของโฟมเป็นสิ่งที่สำคัญมาก

Kim and Kim [5] ได้ทำการศึกษาดทดลองการถ่ายเทความร้อนแบบ pool boiling ของท่อที่มีรูพรุนรูปทรงเรขาคณิตที่ต่างกัน (เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน ความกว้าง) และใช้ R123/oil เป็นสารทำงาน ทำการเปลี่ยนแปลงจำนวนรูพรุน จากผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลงเมื่อใช้น้ำมันเป็นสารทำงาน โดยที่ T_{sat} เท่ากับ $4.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ลดลง 26-49% และที่ T_{sat} เท่ากับ $26.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ลดลง 50-67%

Yang et,al [6] ได้ศึกษาการทดลองของการถ่ายเทความร้อนในการใช้เมทานอลเคลือบบนพื้นผิวธรรมดาและวัสดุพรุน พื้นผิวเคลือบมีรูพรุนที่มีความหนาของ 81 109 150 182 และ 225 ไมโครเมตร จากผลการทดลองพบว่าจำนวนของรูพรุน จะช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ที่ความหนา 81 ไมโครเมตร เกิดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าเมื่อเทียบกับ วัสดุพรุน ความหนา 109 ไมโครเมตร ที่สถานะของเหลวมีความร้อนสูง

Xu et,al [7] ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนแบบ pool boiling ของน้ำกลั่นอิมตัวปราศจากไอออน โดยติดตั้งวัสดุพรุนทำจากโลหะมีร่องรูปตัววี ไว้บนพื้นผิวให้ความร้อนแบบราบเรียบ ภายใต้ความดันบรรยากาศ ศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและรูปแบบการเกิดฟอง ผลของการกำหนดค่าร่อง ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เข้มข้นของโซเดียมโดเดซิลเฟต (SDS) ความหนาของโฟม และการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำโฟม พบว่าการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการถ่ายความร้อน ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นรูพรุนของโฟม

Peter and Wolfgang [8] ได้ศึกษาการทดลอง การเดือดแบบ Pool boiling จากการถ่ายเทความร้อนที่ finned tubes ผลของความขรุขระผิวและรูปร่างของครีบโดยใช้สารทำความเย็นใหม่ ๆ และสารไฮโดรคาร์บอนที่ finned tubes กับโครงสร้างพื้นผิวที่แตกต่างกันการเพิ่มของการถ่ายโอนความร้อนของการเดือดแบบ pool boiling ที่ท่อครีบครีบที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูมากกว่าท่อผิวเรียบ เนื่องจากฟองสะสมเพิ่มขึ้นที่ปลายของครีบและความขรุขระเป็นผลมาจากกระบวนการผลิต เมื่อวัดเทียบการถ่ายโอนความร้อนกับท่อผิวเรียบ ครีบ trapezoid-shaped fin ปรับตัวดีขึ้นมากและได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้นกับครีบเป็นรูป T-shaped หรือ Y-shaped fin

สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ได้มีผู้ปรับปรุงพัฒนาความสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อน โดยการปรับปรุงพื้นผิวให้ความร้อน ปรับปรุงสารทำงาน เป็นต้น และมีการทดสอบด้วยกันหลายวิธี แต่ยังไม่มีการทดสอบการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อน โดยใช้วัสดุที่มีลักษณะเป็นร่องฟันที่มีลักษณะความสูงแตกต่างกัน โดยใช้ทองแดง ทองเหลือง และอลูมิเนียม ดังนั้นเราจึงได้นำแนวคิดนี้มาทำการศึกษาค้นคว้า โดยมีการวัดอุณหภูมิและขอบเขตที่ตั้งแสดงไว้ในบทที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

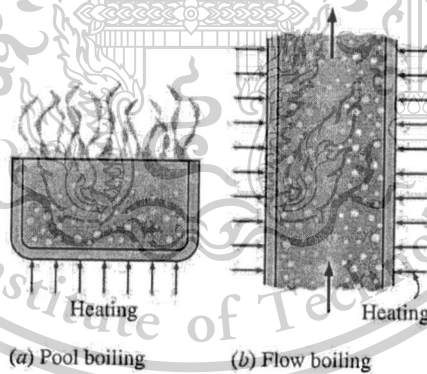
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ทฤษฎีพื้นฐานและการคำนวณ

3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการเดือด

จากการศึกษาเมื่อให้ความร้อนแก่ของเหลว จะทำให้โมเลกุลของของเหลวนั้นมีพลังงานจลน์สูงขึ้นจนของเหลวกลายเป็นไอ ถ้าให้ความร้อนแก่ของเหลวระดับหนึ่ง ทำให้เกิดเป็นฟองภายในของเหลว และฟองนี้จะมีขนาดโตขึ้นเรื่อยๆ ขณะที่ลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของของเหลว แล้วระเหยกลายเป็นไอไปในที่สุด ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า การเดือด (boiling) ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อความดันของของเหลว เท่ากับความดันของบรรยากาศส่วนอุณหภูมิต่ำกว่าของเหลวเดือดเรียกว่า อุณหภูมิจุดเดือด และขณะที่ของเหลวบริสุทธิ์เดือด จุดเดือดจะมีค่าคงที่ เช่น น้ำมีจุดเดือดเท่ากับ 100 °C ที่ความดัน 1 บรรยากาศ โมเลกุลที่เคลื่อนที่บนผิวหน้าของของเหลว ส่วนใหญ่จะถูกของเหลวดูดกลับลงไป และกลายเป็นของเหลวอีกครั้งโมเลกุลส่วนน้อยที่ยังคงอยู่ในสภาพไอ ทำให้เกิดความดันซึ่งเรียกว่าความดันไอ ซึ่งจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เพราะว่าโมเลกุลที่เป็นไอนี้มากขึ้น เนื่องจากอัตราการกลายเป็นไอนี้มากกว่าอัตราที่ไอนี้ ความควบแน่นจนกลายเป็นของเหลว

การเดือด สามารถแบ่งตามลักษณะของการเคลื่อนที่ของสารทำงาน สามารถแบ่งเป็น 2 แบบ คือ flow boiling และ pool boiling ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่ง flow boiling คือการเดือดในลักษณะที่มีการเคลื่อนที่ของของไหลไปตามช่องทางการไหล โดยที่ผนังของช่องทางการไหลนั้นๆจะเป็นพื้นผิวให้ความร้อนด้วย ส่วน pool boiling คือการเดือดบนพื้นผิวให้ความร้อนที่ถูกแช่อยู่ในของเหลว โดยที่ของเหลวจะเกิดการเคลื่อนที่แบบหมุนวน เนื่องจากแรงลอยตัวของสารทำงาน



รูปที่ 3.1 Nucleate boiling ใน (a) Pool boiling (b) Flow boiling [9]

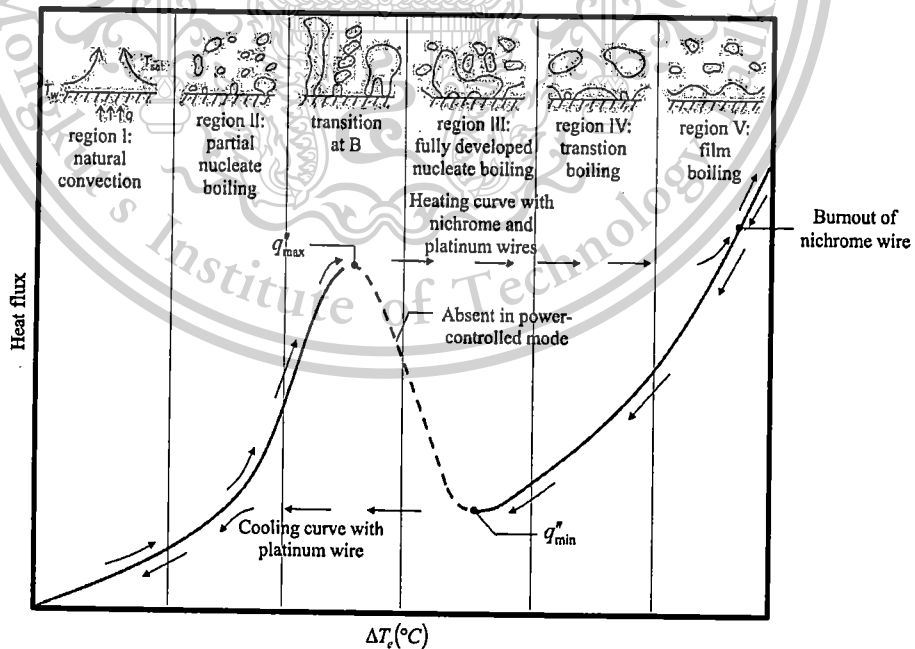
ซึ่งการเดือดแบบ pool boiling และ flow boiling สามารถแบ่งตามอุณหภูมิของของไหลได้เป็น 2 ลักษณะ คือ Subcooled boiling และ Saturated boiling ซึ่ง Subcooled boiling คือ การเดือดของของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของเหลว นั้น ๆ ส่วน Saturated boiling คือการเดือดของของเหลวที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัวของเหลว นั้น ๆ กล่าวคือ ฟอง (Bubble) เกิดจากอากาศที่ถูกขังอยู่ในโพรงเล็ก ๆ บนพื้นผิวให้ความร้อน (Heating surface) เมื่อพื้นผิวที่ให้ความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น อากาศที่ถูกขังอยู่ภายในโพรงเล็กๆ จะเกิดการขยายตัวขึ้นเรื่อยๆ แล้วพัฒนาเป็นฟอง (Bubble) หลุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอยออกจากพื้นผิวให้ความร้อน เมื่อการเดือดอยู่ในสภาวะ Sub cooled boiling ฟอง (Bubble) ที่หลุดลอยออกจากพื้นผิวให้ความร้อนจะยุบตัวลงแล้วสลายตัวไปก่อนที่จะถึงพื้นผิวด้านบนของของเหลว สาเหตุเนื่องจากอุณหภูมิของของเหลรรอบ ๆ ฟอง (Bubble) ต่ำกว่าอุณหภูมิมืดตัวของของเหลว นั้น ๆ ทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำภายในฟอง (Bubble) ส่วนการเดือดในสภาวะ Saturated boiling ฟอง (Bubble) ที่หลุดลอยออกจากพื้นผิวให้ความร้อนจะมีขนาดโตขึ้นเรื่อย ๆ จนกว่าจะลอยสู่ผิวด้านบนของของเหลวแล้วแตกกลายเป็นไอน้ำ

3.2 การเดือด (Pool boiling)

Pool boiling เป็นลักษณะของการเดือดที่ได้รับการศึกษาค้นคว้ากันอย่างกว้างขวาง ในขณะหนึ่งของเหลวส่วนหนึ่งระเหยกลายเป็นไอน้ำจะดูดซึมเอาความร้อนแฝงมาจากของเหลวนั้น ๆ ดังนั้นอุณหภูมิของของเหลวที่บริเวณพื้นผิวให้ความร้อนจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของของเหลวส่วนใหญ่จะสูงกว่าอุณหภูมิมืดตัวเล็กน้อย ฟองที่เกิดขึ้นบริเวณผิวให้ความร้อนจะลอยตัวขึ้นและเคลื่อนตัวผ่านของเหลวออกไปจากผิวหน้าอิสระ กลไกทางกายภาพของการเดือดประเภทนี้สามารถทำให้เข้าใจได้โดยการพิจารณา pool boiling curve ซึ่ง Nukiyama ในปี ค.ศ.1934 เป็นนักวิจัยในยุคแรก ที่ได้ทำการศึกษาดทดลองแบบ pool boiling การควบคุมพลังความร้อนที่จ่ายให้กับลวดฮีตเตอร์ ที่ถูกแช่อยู่ในน้ำที่ความดันบรรยากาศและนับว่าเป็นบุคคลแรกที่ได้แยกแยะปรากฏการณ์ต่างๆ ในการเดือดได้ 4 แบบคือ Natural convective boiling, Nucleate boiling, Transition boiling และ Film boiling ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แสดงลักษณะ Pool boiling curve ของน้ำที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_s - T_{sat}$ กับ พลังความร้อน เป็นการพิจารณารูปแบบของปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของการเดือดแบบ pool boiling จะทำให้เราสามารถเข้าใจทางกลไกทางกายภาพของการเดือดประเภทนี้ได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.2 Pool boiling curve การเดือดของน้ำที่ความดันบรรยากาศ

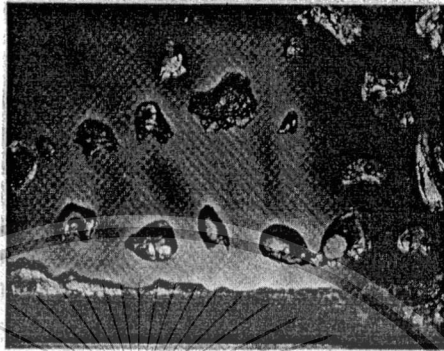
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.1 การเกิดฟองของ Pool boiling

การเกิดฟองของ nucleate boiling สันนิษฐานว่า ความขรุขระของพื้นผิวให้ความร้อนจะมีลักษณะเป็นโพรงกักเก็บแก๊สไว้ภายใน เมื่อพื้นผิวได้รับความร้อนจะส่งผลทำให้แก๊สที่ถูกกักไว้ ในโพรงเกิดการขยายตัวเป็นฟองขึ้นที่บริเวณพื้นผิวให้ความร้อน ดังแสดงรูปที่ 3.3 เนื่องจากโพรงบนพื้นผิวนั้น มีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกันไป



รูปที่ 3.3 รูปแบบการเกิดฟอง [10]

3.2.2 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection)

การพาความร้อนแบบธรรมชาติเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่ง ซึ่งใช้หลักการของแรงลอยตัว ที่เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของเหลว โดยทั่วไปแล้วของไหลที่อยู่ใกล้ ๆ พื้นผิวให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิสูง (ความหนาแน่นต่ำ) แต่ของไหลที่อยู่ไกลออกไปจะมีอุณหภูมิต่ำ (ความหนาแน่นสูง) โดยที่ของไหลที่มีความหนาแน่นต่ำจะลอยตัวขึ้น ในขณะที่เดียวกันของไหลที่มีความหนาแน่นสูงจะเข้ามาแทนที่ จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบหมุนวน

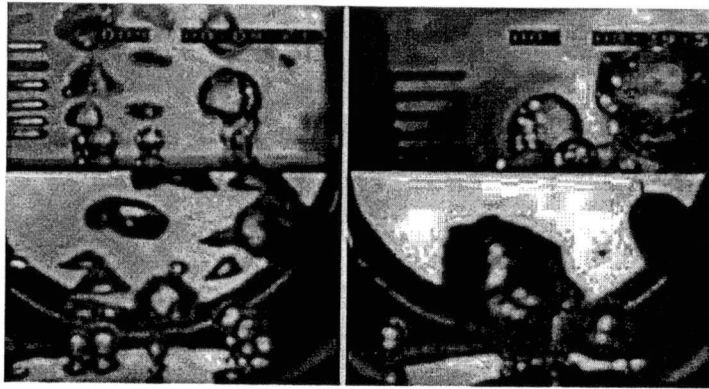
3.2.3 Nucleate boiling

การวิเคราะห์การเดือดในย่าน nucleate boiling นั้นเราจะต้องรู้จำนวนจุดที่เกิดฟองที่พื้นผิว ตลอดจนอัตราการเกิดฟองของแต่ละจุด การเกิดฟองจะมีลักษณะเป็นฟองทรงกลมเกาะที่บริเวณพื้นผิวให้ความร้อนและในขณะเดียวกันของไหลก็มีการเคลื่อนที่แบบหมุนวนด้วย และเมื่ออุณหภูมิพื้นผิวให้ความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้ฟองที่เกาะอยู่หลุดลอยออกจากพื้นผิวให้ความร้อน ซึ่งเป็นลักษณะของ nucleate boiling ในช่วงฟลักซ์ความร้อนต่ำ และในช่วงฟลักซ์ความร้อนสูง nucleate boiling จะมีการเดือดที่มีความรุนแรงมากกว่าในช่วง ฟลักซ์ความร้อนต่ำ ลักษณะของฟองที่เกิดขึ้นในช่วงฟลักซ์ความร้อนสูงนี้ เป็นแบบทรงกลม สลับกับฟองสลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.4 Nucleate boiling [11]

แม้ว่ากลไกต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดือดในย่านนี้ จะได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวาง แต่ก็ยังไม่มี การพัฒนาออกมาเป็นคณิตศาสตร์อย่างสมบูรณ์ กลุ่มของนักทดลองซึ่งนำโดย Yamagata เป็นคณะแรกที่ แสดงว่าผลของการเกิดฟอง (nucleation sites) ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเป็นไปตามสมการนี้

$$q''_{\max} = C \Delta T_e^a n^b \quad (3.1)$$

โดยที่ n คือความหนาแน่นของจุดเกิดฟอง (จำนวนจุดเกิดฟองต่อพื้นที่) และด้วยกำลังประมาณ ได้เป็น $a = 1.2$ และ $b = 1/3$ ตามความจริงแล้ว C และ n จะขึ้นอยู่กับชนิดของของไหล แต่สำหรับ พื้นผิวที่ใช้ในด้านอุตสาหกรรมส่วนใหญ่พบว่า q''_{\max} แปรผันในลักษณะ ΔT_e^a จากการพิจารณาดังกล่าว Rohsenow's ได้เสนอสมการการเดือดในย่าน nucleate boiling คือ

$$q''_{\max} = \mu h_f \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{1/2} \left(\frac{C_{p,l} \Delta T_e}{C_{s,f} h_{fg} Pr_l n} \right)^3 \quad (3.2)$$

ตัวห้อย l และ v หมายถึงค่าคงที่สภาวะของเหลวและไอตามลำดับ การที่ความตึงผิว (σ) ปรากฏอยู่ในสมการด้านบนเพราะมีผลต่อการก่อตัวของฟอง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ $C_{s,f}$ และกำลัง n นั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวและชนิดของเหลว สำหรับพื้นผิวของเหลวบางชนิดค่าความตึงผิวและความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 แสดงตารางค่าสัมประสิทธิ์ $C_{s,f}$ และกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

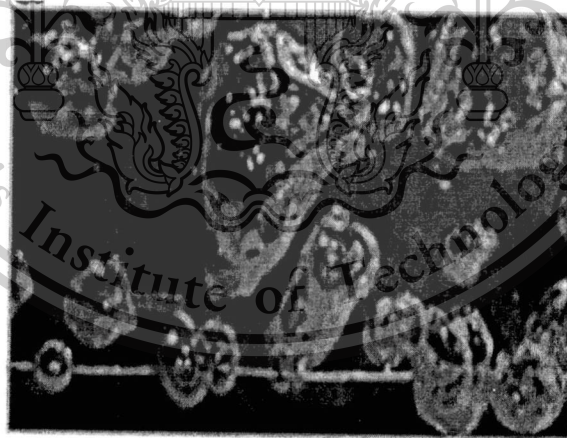
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Surface-Fluid Combination	$C_{s,f}$	n
Water-copper		
Scored	0.0068	1.0
Polished	0.0128	1.0
Water-stainless steel		
Chemically etched	0.0133	1.0
Mechanically polished	0.0132	1.0
Ground and polished	0.0080	1.0
Water-brass	0.0060	1.0
Water-nickel	0.006	1.0
Water-platinum	0.0130	1.0
<i>n</i> -Pentane-copper		
Polished	0.0154	1.7
Lapped	0.0049	1.7
Benzene-chromium	0.0101	1.7
Ethyl alcohol-chromium	0.0027	1.7

รูปที่ 3.5 ตารางของ $C_{s,f}$ สำหรับของเหลวต่างๆบนพื้นผิว [12]

3.2.4 ฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ (Critical heat flux, CHF)

Critical heat flux เป็นสิ่งที่สำคัญมากในการออกแบบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเดือด ในการออกแบบเราต้องการให้กระบวนการเดือดไม่เกินจุด critical heat flux เพราะอาจเกิดอันตรายได้ ดังนั้น การเรียนรู้ค่า critical heat flux จึงเป็นสิ่งจำเป็น รูปแบบของฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 Kutateladze ใช้วิธีการวิเคราะห์มิติและ Zuber ได้ใช้การวิเคราะห์ hydrodynamic stability analysis ซึ่งจะได้สมการที่ 3.4



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของ pool boiling ที่ฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Kutateladze ใช้วิธีการวิเคราะห์มิติและ Zuber ได้ใช้การวิเคราะห์ hydrodynamic stability analysis ซึ่งจะได้สมการดังนี้

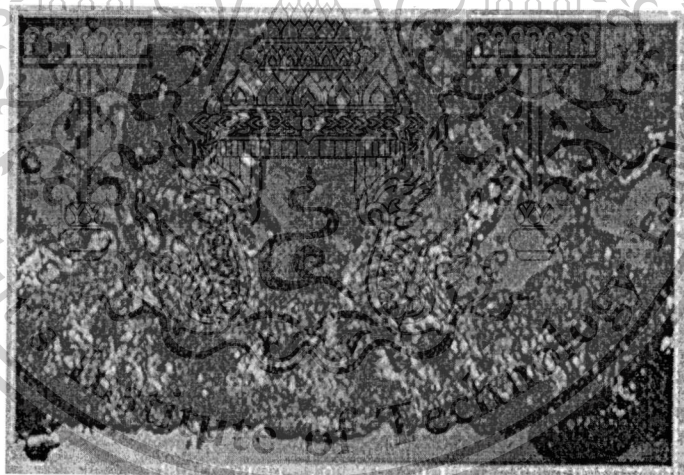
$$q''_{\max} = \frac{\pi}{24} h_{fg} \rho_v \left[\frac{\sigma g (\rho_l - \rho_v)}{\rho_v^2} \right]^{1/4} \left(\frac{\rho_l + \rho_v}{\rho_l} \right)^{1/2} \quad (3.3)$$

จะเห็นได้ว่าไม่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่เป็นพื้นผิว แต่ขึ้นอยู่กับรูปทรงของพื้นผิวเท่านั้น การทดลองพบว่าควรแทนค่า zuber constant ซึ่งได้แก่ $\frac{\pi}{24} = 0.149$ และจัดรูปของสมการใหม่

$$q''_{\max} = 0.149 h_{fg} \rho_v \left[\frac{\sigma g (\rho_l - \rho_v)}{\rho_v^2} \right]^{1/4} \left(\frac{\rho_l + \rho_v}{\rho_l} \right)^{1/2} \quad (3.4)$$

3.2.5. Transition boiling

การเดือดในย่านนี้จะเกิดขึ้นหลัง critical heat flux ซึ่งของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวให้ความร้อนในจังหวะที่ไม่คงตัว อย่างไรก็ตามการเดือดสูงสุดของย่านนี้เป็นสิ่งที่น่าสนใจเนื่องจากจะมีการก่อตัวของชั้นไอซึ่งมีเสถียรภาพ (Stable vapor blanket) และเป็นสภาพที่เรียกว่า minimum heat flux condition ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ถ้าค่า heat flux ลดต่ำกว่าเวลานี้ ชั้นของไอดังกล่าวจะยุบตัวลงและการเดือดจะกลับมาเป็นแบบ nucleate boiling ดังรูป



รูปที่ 3.7 ลักษณะของ pool boiling ในช่วงของ transition boiling [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Zuber ได้ใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับ stability และให้ค่า minimum heat flux ดังสมการด้านล่าง

$$q''_{\min} = ch_{fg}\rho_v \left[\frac{\sigma g(\rho_l - \rho_v)}{(\rho_l + \rho_v)^2} \right]^{1/4} \quad (3.5)$$

3.2.6. Film boiling

การเดือดในช่วงนี้ชั้นของไอจะเคลือบคลุมพื้นผิวอย่างต่อเนื่องและจะไม่มีสัมผัสระหว่างของเหลวและพื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เนื่องจากในชั้นของไอมีความคล้ายคลึงกับใน laminar film condensation จึงมักนำผลลัพธ์จากทฤษฎีของการควบแน่นมาเป็นพื้นฐานสำหรับสมการการเดือดในย่านนี้สามารถใช้ได้กับการเดือดแบบ film boiling บนทรงกระบอกหรือทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D คือ

$$\overline{Nu}_D = \frac{\overline{h}_{conv} D}{k_v} = C \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v) h'_{fg} D^3}{U_v K_v (T_s - T_{sat})} \right]^{1/4} \quad (3.6)$$

โดยค่าคงที่ $C = 0.62$ สำหรับทรงกระบอกที่วางในแนวระดับ และ $C = 0.67$ สำหรับทรงกระบอกและ $h'_{fg} = h_{fg} + 0.80 C_{p,v} (T_s - T_{sat})$ ส่วนคุณสมบัติต่างๆ ของไอหาที่ film temperature $T_f = (T_s - T_{sat})/2$

เมื่อพื้นผิวอุณหภูมิสูงมาก ($T_s \geq 300^\circ\text{C}$) การแผ่รังสีความร้อนผ่านชั้นของไอจะมีความสำคัญและผลของการแผ่รังสี จะทำให้ชั้นของไอน้ำมากขึ้นการนำผลลัพธ์ของการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนมาบวกกันจึงไม่สมเหตุผล Bromley ได้ทำการวิเคราะห์ การเดือดแบบ film boiling ที่ผิวนอกของท่อที่วางในแนวระดับและได้แนะนำการคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากสมการ

$$\overline{h}^{-4/3} = \overline{h}_{conv}^{-4/3} + \overline{h}_{rad}^{-1/3} \overline{h}^{-1/3} \quad (3.7)$$

และถ้า $\overline{h}_{rad} \leq \overline{h}_{conv}$ อาจใช้สมการในรูปที่ง่ายกว่า

$$\overline{h} = \overline{h}_{conv} + (3/4)\overline{h}_{rad} \quad (3.8)$$

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ของการแผ่รังสีความร้อนหาได้จาก

$$\overline{h}_{rad} = \frac{\varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{sat}^4)}{T_s - T_{sat}} \quad (3.9)$$

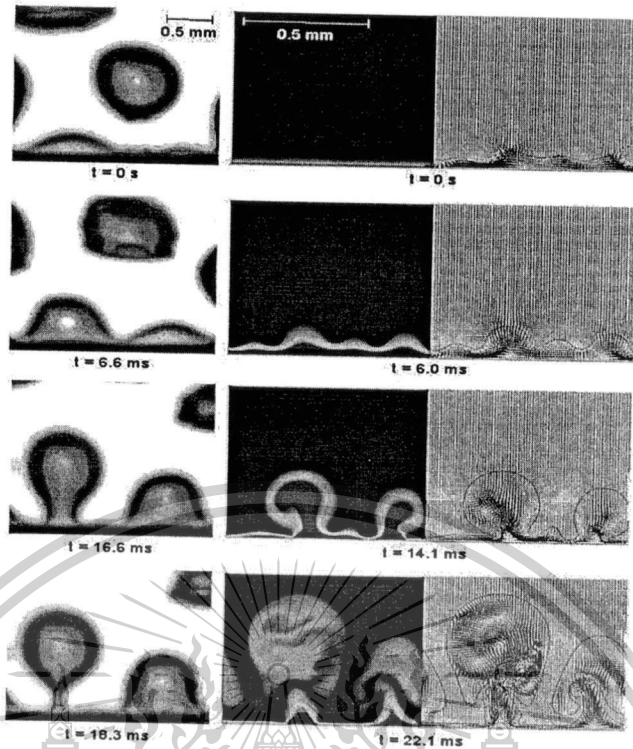
โดยที่ค่า ε คือ Emissivity ของพื้นผิวให้ความร้อน

σ คือ ค่าคงที่ของ Stefan - Boltzmann constant มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 ลักษณะของ pool boiling ในช่วงของ film boiling [15]

3.3 การคำนวณ

3.3.1 การคำนวณฟลักซ์ความร้อน

การคำนวณฟลักซ์ความร้อนของพื้นผิวที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบ pool boiling จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.10

$$q'' = \frac{I \cdot V}{A} \quad (3.10)$$

โดยที่ q'' คือ ฟลักซ์ความร้อน (W/m^2)
 I คือ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ (A)
 V คือ ศักดิ์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ (V)
 A คือ พื้นผิวให้ความร้อน (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2 การคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวให้ความร้อน

การคำนวณหาอุณหภูมิพื้นผิวให้ความร้อน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.11 ซึ่งสร้างจาก least square method เชิงเส้น

$$T_s = \frac{\sum_{i=1}^4 T_i \sum_{i=1}^4 x_i^2 - \sum_{i=1}^4 x_i \sum_{i=1}^4 x_i T_i}{4 \sum_{i=1}^4 x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^4 x_i \right)^2} \quad (3.11)$$

เมื่อ T_s คือ อุณหภูมิของพื้นผิวให้ความร้อน (K)

T_i คือ อุณหภูมิบนชุดทดสอบที่ตำแหน่งต่างๆ (K)

x_i คือ ระยะที่ติดตั้งตัววัดอุณหภูมิบนชุดทดสอบที่ตำแหน่งต่างๆ (m)

3.3.3 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบ pool boiling

$$h_b = \frac{q}{T_s - T_{sat}} \quad (3.12)$$

เมื่อ h_b คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบ pool boiling (W/m^2)

q คือ ฟลักซ์ความร้อน (W)

T_s คือ อุณหภูมิของพื้นผิวให้ความร้อน (K)

T_{sat} คือ อุณหภูมิอิ่มตัวของของเหลว (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

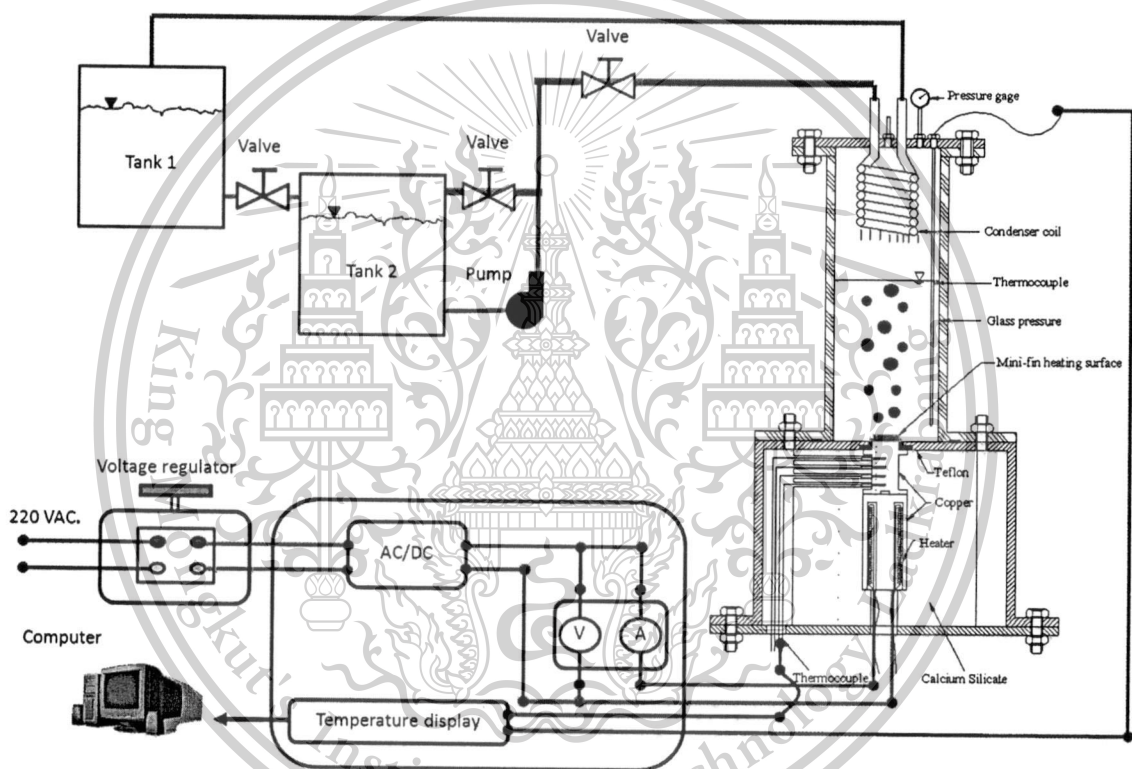
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 อุปกรณ์การทดลอง

ในการศึกษาเครื่อง pool boiling จะมีพื้นผิวให้ความร้อนที่ติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มความปั่นป่วน โดยติดตั้งอุปกรณ์หลักคือ micro porous fin heating surface เพื่อทำการทดลองมีรายละเอียดดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะมีอุปกรณ์หลักๆที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 4 ระบบด้วยกัน คือ ระบบไฟฟ้า ระบบ boiling ระบบระบายความร้อน และระบบวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 4.1 Schematic diagram ของอุปกรณ์การทดลอง

4.1.1 ระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ หม้อแปลงปรับค่าได้ ตัวแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ ให้เป็นกระแสตรง โดยที่หม้อแปลงปรับค่าได้จะเป็นตัวควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ heater ขนาด 1.2 kW 220 VDC โดยมี multimeter เป็นตัววัดกระแสไฟฟ้า (ADC) และแรงดันไฟฟ้า (VDC) ที่ออกจากตัวแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกจากหม้อแปลงปรับค่าได้ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อส่งไปยัง heater

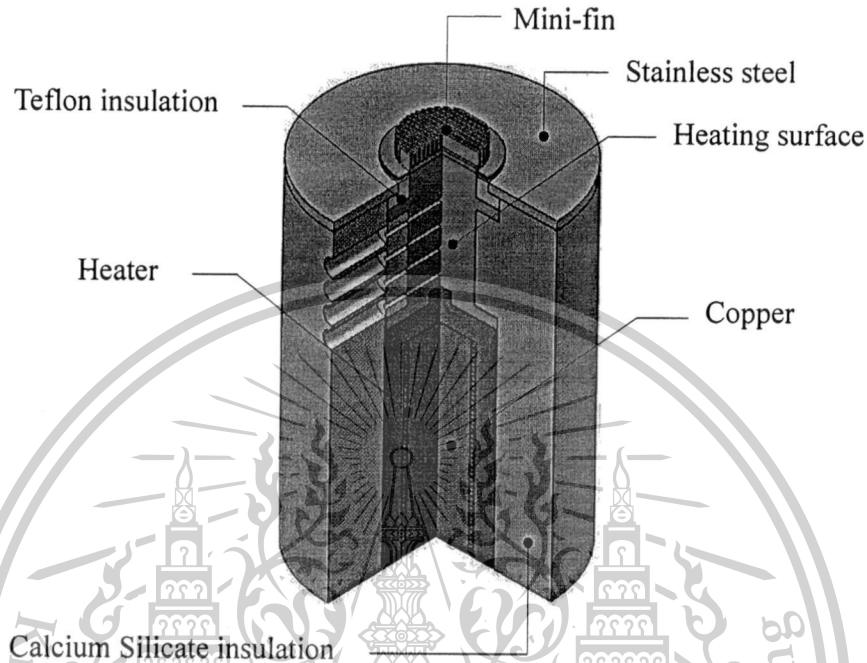
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.2 ระบบ pool boiling

ระบบ pool boiling มี 3 ส่วนด้วยกันคือ ถึงความดัน boiling test section คอยล์เย็น ซึ่งถึงความดันทำมาจากหลอดแก้วทนแรงดันและความร้อนสูงโดยถึงความดันมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm. สูง 300 mm. ภายในบรรจุ working fluid ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.2 แสดงภาพตัดของชุดทดสอบ boiling

ในรูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของ boiling test section ซึ่งประกอบไปด้วย heater (1.2 kW) ที่ถูกฝังอยู่ในแท่งทองแดง เพื่อที่จะส่งความร้อนจาก heater ไปยัง test section หนา 50 mm. เพื่อต้องการให้ความร้อนจาก heater ส่งไปยัง test section ที่อยู่ด้านบนเท่านั้น test section ที่ใช้ในการทดลองนี้จะทำมาจากทองแดง บริเวณของ test section จะมีช่องจำนวน 4 ช่อง สำหรับติดตั้ง t-type sheath thermocouple ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 mm. ยาว 150 mm. มีค่าความคาดเคลื่อน $\pm 0.5\%$ ซึ่งแต่ละตัวจะมีระยะห่างกัน 10 mm.

โดยที่ sheath thermocouple ตัวบนสุดกับพื้นผิวให้ความร้อนจะมีระยะห่างกัน 20 mm. ดังแสดงในรูปที่ 3.2 การที่วัดอุณหภูมิของ test section ที่ตำแหน่งต่าง ๆ นั้น ก็เพื่อที่จะนำค่าของอุณหภูมิที่วัดได้มาใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิของพื้นผิวให้ความร้อน

4.1.3 ระบบระบายความร้อน

ระบบระบายความร้อนทำหน้าที่ควบคุมความดันภายในถึงความดันขนาดเล็กให้คงที่ที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งระบบระบายความร้อนประกอบด้วย ถังน้ำ ปั๊มน้ำ วาล์วน้ำ คอยล์ทองแดง โดยที่ถังน้ำทั้งสองมีขนาด $50 \times 50 \times 50 \text{ m}^3$ และปั๊มน้ำทำหน้าที่สูบน้ำจาก tank 2 ให้ไหลภายในระบบ โดยที่ไหลผ่าน cooling coil นั้น จะทำให้เกิดความควบแน่นของไอจึงเป็นผลทำให้สามารถควบคุมความดันภายในถึงความดันขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เล็กให้คงที่ที่ความดันบรรยากาศได้โดยการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งความดันภายในถังความดันขนาดเล็กจะสังเกตได้จากอุปกรณ์วัดความดันที่ติดตั้งไว้อยู่ด้านบน

4.1.4 ระบบวัดอุณหภูมิ

ระบบวัดอุณหภูมิจะประกอบด้วย sheet thermocouple ชนิด T ตัวแสดงค่าอุณหภูมิ โดยที่ sheet thermocouple ชนิด T มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 mm. ยาว 150 mm. จำนวน 4 ตัว ใช้วัดอุณหภูมิของ test section ที่ตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อประมาณอุณหภูมิที่บริเวณพื้นผิวให้ความร้อน โดย sheet thermocouple แต่ละตัวจะมีระยะห่าง 10 mm. ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ sheet thermocouple ชนิด T มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 mm. ยาว 210 mm. ใช้วัดอุณหภูมิของ working fluid ซึ่ง sheet thermocouple ทั้งหมดจะใช้ตัวแสดงค่าอุณหภูมิที่มีความละเอียดทศนิยม 1 ตำแหน่ง ในการอ่านค่าของอุณหภูมิ

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

อุปกรณ์การทดลองนี้เป็นอุปกรณ์ทดสอบคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ pool boiling และศึกษาถึงปรากฏการณ์ pool boiling ในขณะที่ติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มความปั่นป่วน micro porous - fin heating surface และที่ความดันบรรยากาศซึ่งรายละเอียดของวิธีการทดลอง มีดังต่อไปนี้

1. ในการทำการทดลองนั้นเริ่มจากเปิด heater ให้ความร้อนกับ working fluids ที่อยู่ในหลอดแก้ว ทนความดันจนถึงอุณหภูมิอิ่มตัวของ working fluids ที่ใช้ในการทดสอบ
2. จากนั้นทำการปรับไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ heater เพื่อส่งความร้อนไปยังพื้นผิวให้ความร้อนที่ใช้ในการทดสอบ ต่อจากนั้นรอกจนกว่าอุณหภูมิกึ่งที่
3. ขั้นตอนต่อไปให้ทำการควบคุมความดันภายในหลอดแก้วทนความดันให้คงที่โดยการปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำในระบบระบายความร้อนที่ผ่าน condenser coil
4. เมื่อควบคุมสถานะในการทดลองคงที่แล้ว จากนั้นให้เก็บข้อมูลการทดลองจุดที่หนึ่ง ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำงาน แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ heater และทำการถ่ายภาพปรากฏการณ์ของการเดือดด้วย
5. ขั้นตอนต่อไปให้เพิ่มกำลังไฟฟ้าขึ้นไปอีกระดับหนึ่งแล้วรอกจนกว่าอุณหภูมิกึ่งที่ จากนั้นให้ทำตามขั้นตอนที่ 3 ถึงขั้นตอนที่ 4
6. ให้ทำตามขั้นตอนที่ 5 ไปเรื่อยๆจนกว่าจะถึงจุดที่พื้นผิวให้ความร้อนเป็นการเดือดแบบ film boiling (จุดของฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ) จากนั้นให้ทำการปิดเครื่องทดลองโดยทันที แล้วรอกจนกว่าอุณหภูมิกึ่งที่ลดลง
7. ขั้นตอนต่อไปทำการถอดอุปกรณ์ออกมาล้างทำความสะอาด หลังจากนั้นใช้ลมเป่าให้แห้ง แล้วประกอบอุปกรณ์ทดสอบเข้าที่เดิมเพื่อใช้ในการทดสอบครั้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการศึกษาคุณลักษณะของ nucleate pool boiling heat transfer ที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้น้ำกลั่นเป็น working fluids จากการทดลองในครั้งนี้ได้ติดตั้ง micro porous - fin heat surface โดยใช้วัสดุที่ทำจาก Copper, Brass และ Aluminum บนพื้นผิวให้ความร้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ซึ่งที่บริเวณพื้นผิวให้ความร้อนมีลักษณะเป็นครีบแบบแท่งเรียงยาวทำจาก Copper, Brass และ Aluminum มีลักษณะเป็นวงกลม วางในแนวราบ ในการทดลองจะบ่งบอกถึงคุณลักษณะของ nucleate pool boiling heat transfer ที่ความดันบรรยากาศโดยที่ รูปที่ 5.1 เป็นกราฟ pool boiling curve ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_s - T_{sat}$ กับ heat flux และแสดงปรากฏการณ์ของ nucleate pool boiling heat transfer ในช่วงของ high heat flux



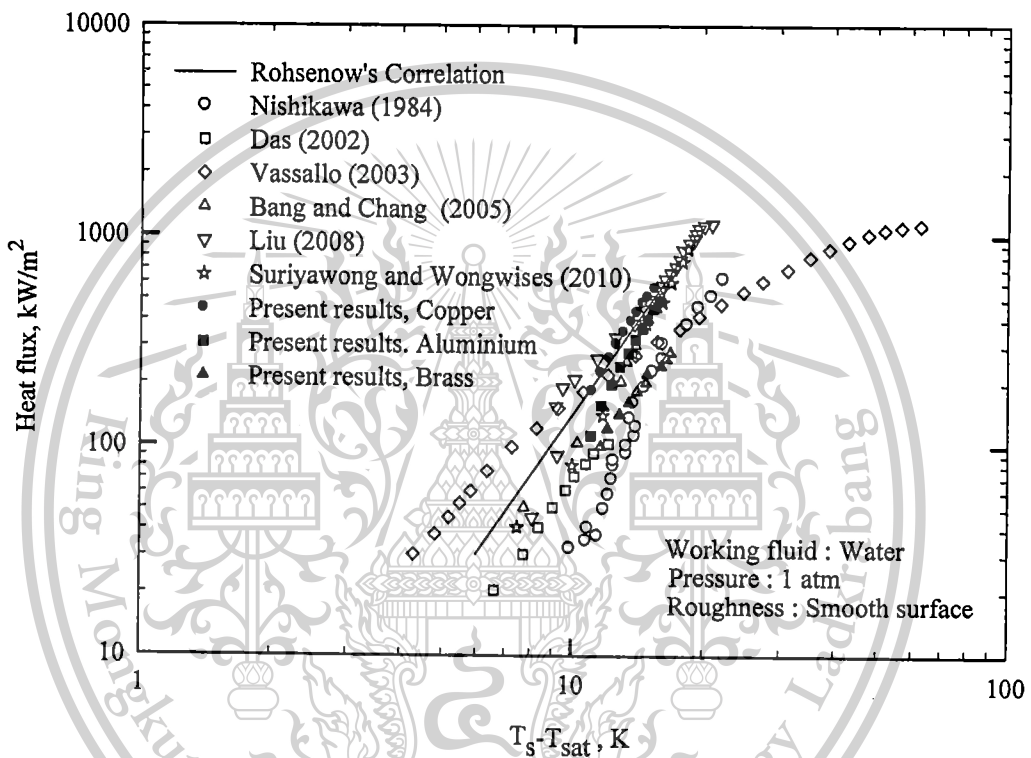
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the content when use.

5.1 การเทียบสอบของอุปกรณ์การทดลอง

การเทียบสอบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อทำนายคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ซึ่งใช้น้ำกลั่นเป็น working fluids ในการทดสอบ และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับสหพันธ์ของ Rohsenow's นอกจากนี้ยังได้นำข้อมูลการทดลองของนักวิจัยท่านอื่นๆ มาทำการเปรียบเทียบด้วยดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งเป็นกราฟ pool boiling curve ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_s - T_{sat}$ กับ heat flux จากผลการเทียบ พบว่าผลที่ได้จากอุปกรณ์การทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับสหพันธ์ของ Rohsenow's และอยู่ในกลุ่มข้อมูลการทดลองของ Das et al.[16], Vassallo et al.[17], Bang and Chang [18], Liu et al.[19], Trisaksri and Wongwises [20]



รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่า heat flux ที่ได้จากการทดลองสหพันธ์ของ Rohsenow's และการทดลองของนักวิจัยท่านอื่น ๆ

5.2 ผลของ Fin materials ที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

จากการทดลองเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองของความสูง Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminium micro porous - fin ที่มีผลต่อคุณลักษณะ pool boiling curve และ heat transfer coefficient ซึ่งทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศ ข้อมูลของ Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminium micro porous - fin มีดังนี้ ความหนาของ fin 1 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm. ความหนาของฐานแผ่น fin 2 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm. นอกจากนี้ในการทดลองได้ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดความสูงของ Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminium micro porous - fin มีความสูงของ fin 2, 4 และ 6 mm. ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.2 ถึง 5.8 มีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พิจารณาคุณลักษณะ การถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวเรียบของ Copper, Brass และ Aluminum ที่ทำการติดตั้ง Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminum micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ถึง 5.8 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ nucleate pool boiling ของน้ำกลั่นที่ติดตั้ง Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminum micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนขนาดความสูงของ fin 2, 4 และ 6 mm. ตามลำดับ

รูปที่ 5.2(ก) 5.3(ก) 5.4(ก) และ 5.5(ก) เป็นกราฟ boiling curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $T_s - T_{sat}$ กับค่า heat flux จากกราฟผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าข้อมูลการทดลองอยู่ในช่วง $T_s - T_{sat}$ ประมาณ 9 - 17 °C จากกราฟที่ $T_s - T_{sat}$ ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่า heat flux เพิ่มขึ้นด้วยใน ทุกการทดลอง

รูปที่ 5.2 (ข) 5.3 (ข) 5.4 (ข) และ 5.5 (ข) เป็นกราฟ Pool boiling heat transfer coefficient ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง heat flux กับค่า heat transfer coefficient จากกราฟผลการทดลองพบว่าเมื่อเทียบที่ค่า heat flux เดียวกัน ค่า Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminum micro porous - fin มากกว่า Non fin ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าเมื่อติดตั้ง Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminum micro porous - fin จะทำให้ไปถ่ายเทความร้อนที่พื้นผิวส่งผลให้ความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวให้ความร้อนเพิ่มขึ้น นัยหมายความว่า การติดตั้งอุปกรณ์ Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminum micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนมีผลทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ดังนี้

ที่ความสูงของ fin 2 mm ของพื้นผิวให้ความร้อนที่ทำจาก Copper , Brass และ Aluminum ได้ว่า

Copper มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 32.0 %

Copper มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Aluminum เท่ากับ 11.4 %

Aluminum มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 18.4 %

ที่ความสูงของ fin 4 mm ของพื้นผิวให้ความร้อนที่ทำจาก Copper , Brass และ Aluminum ได้ว่า

Copper มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 40.1 %

Copper มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Aluminum เท่ากับ 14.0 %

Aluminum มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 22.8 %

ที่ความสูงของ fin 6 mm ของพื้นผิวให้ความร้อนที่ทำจาก Copper , Brass และ Aluminum ได้ว่า

Copper มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 40.5 %

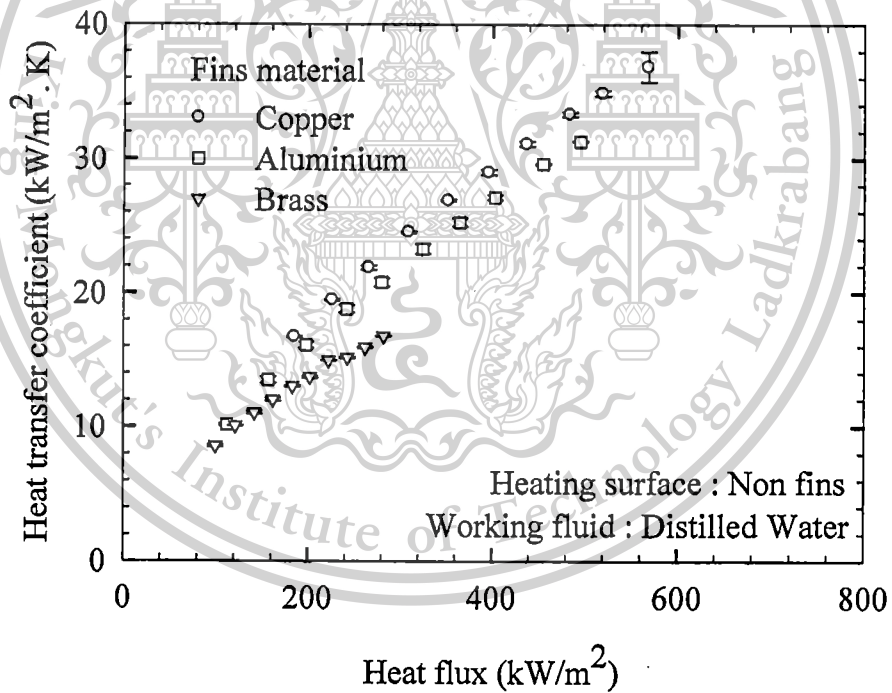
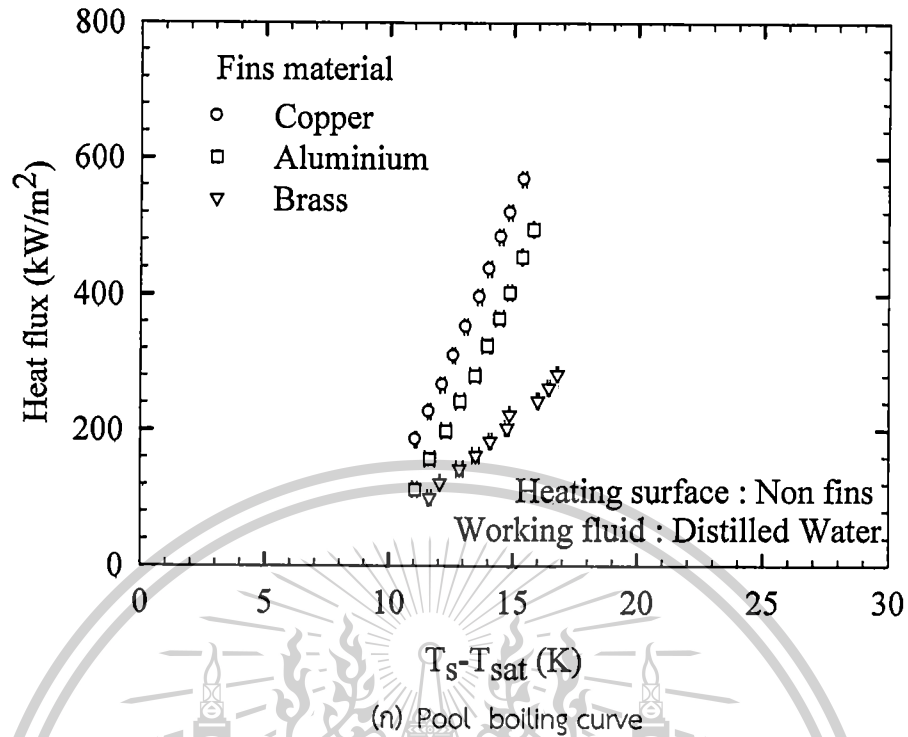
Copper มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Aluminum เท่ากับ 14.5%

Aluminum มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 22.6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

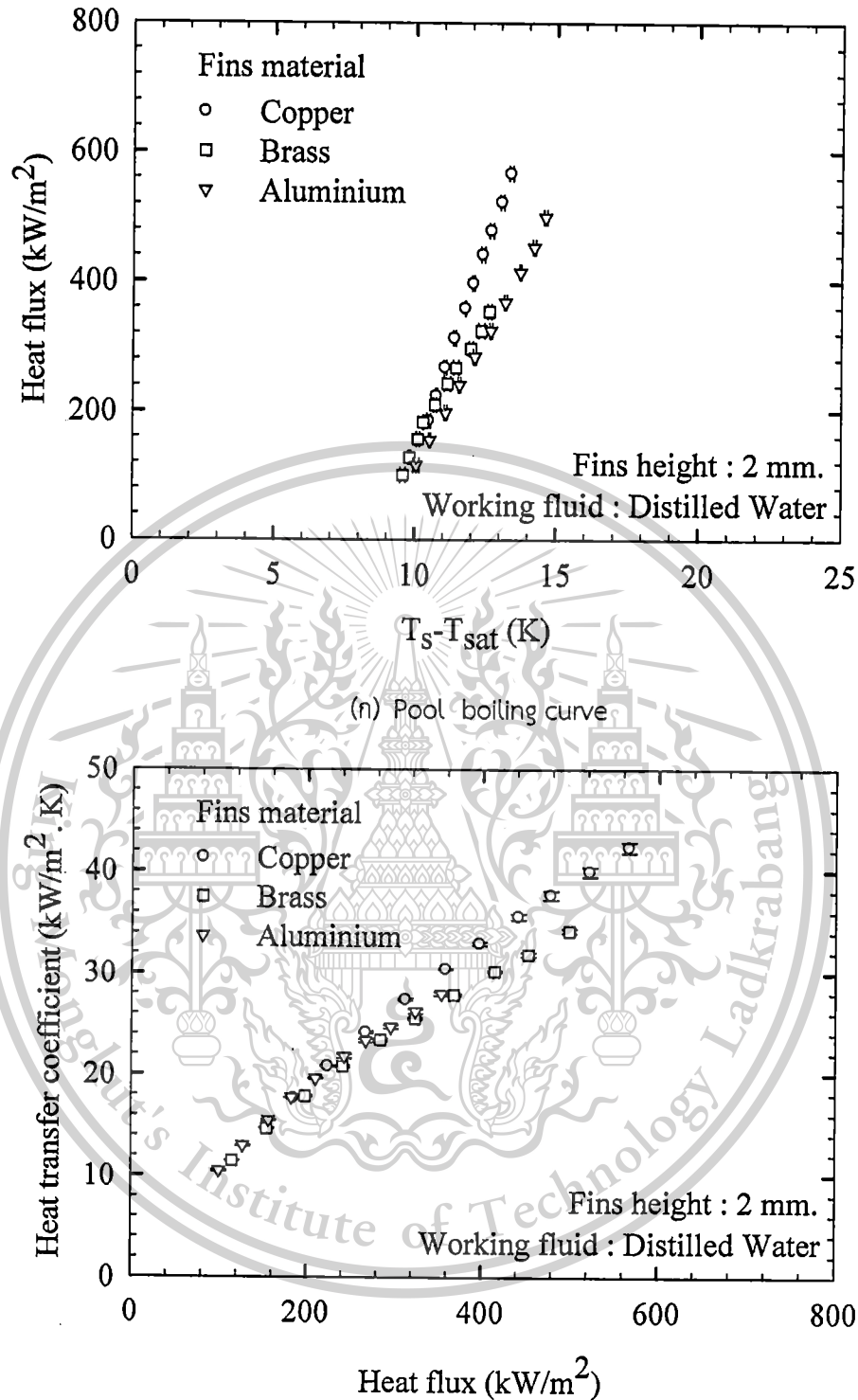


รูปที่ 5.2 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminium micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ผิวเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

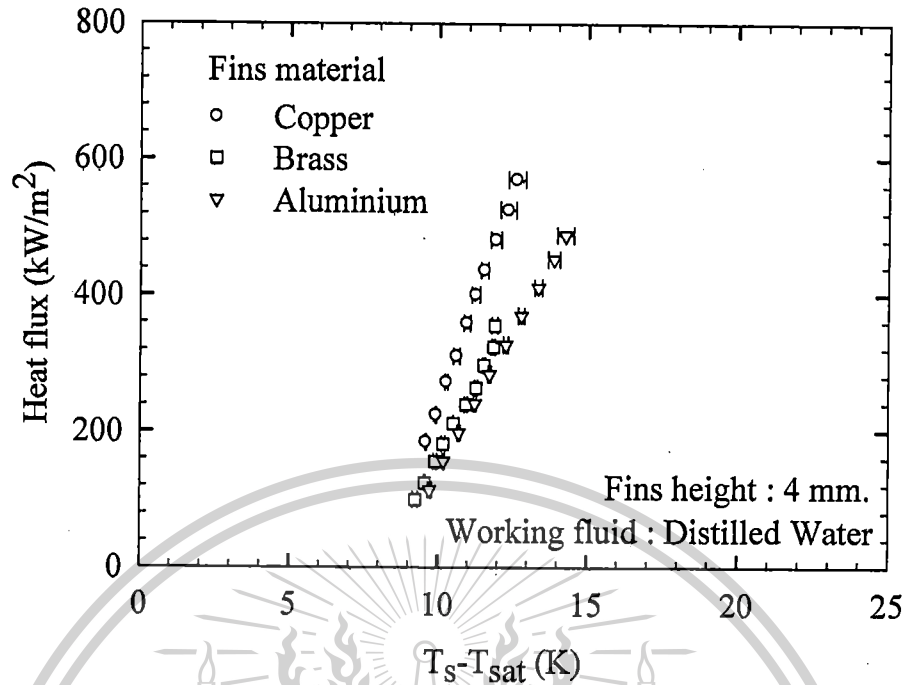


รูปที่ 5.3 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminium micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่มีความสูง fin 2 mm.

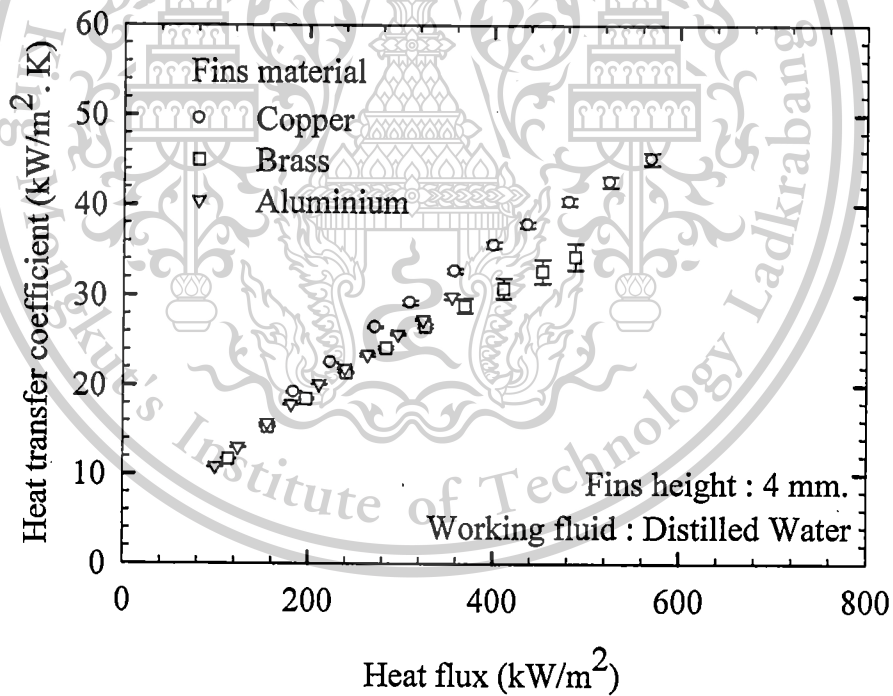
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก) Pool boiling curve



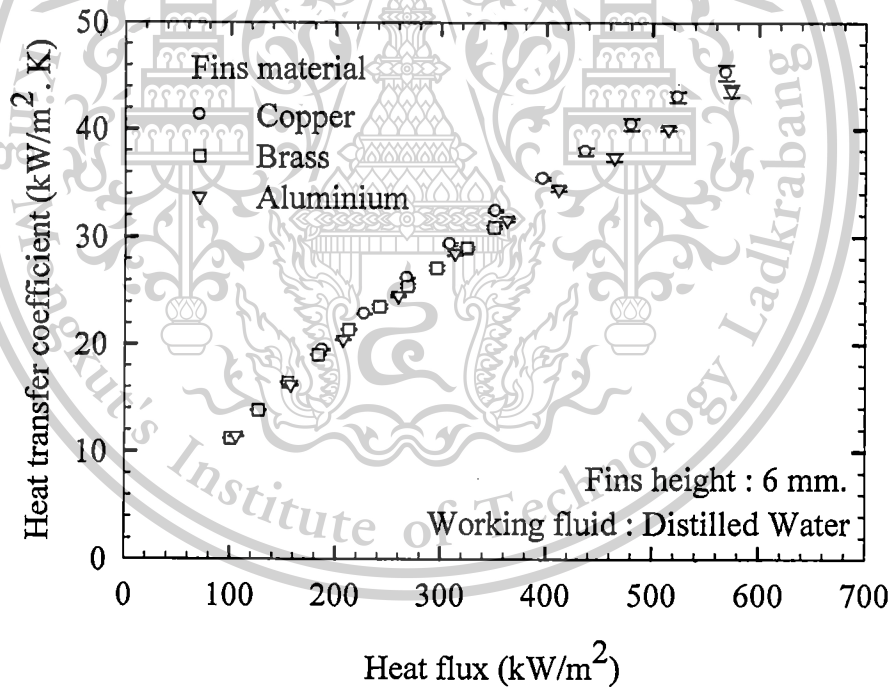
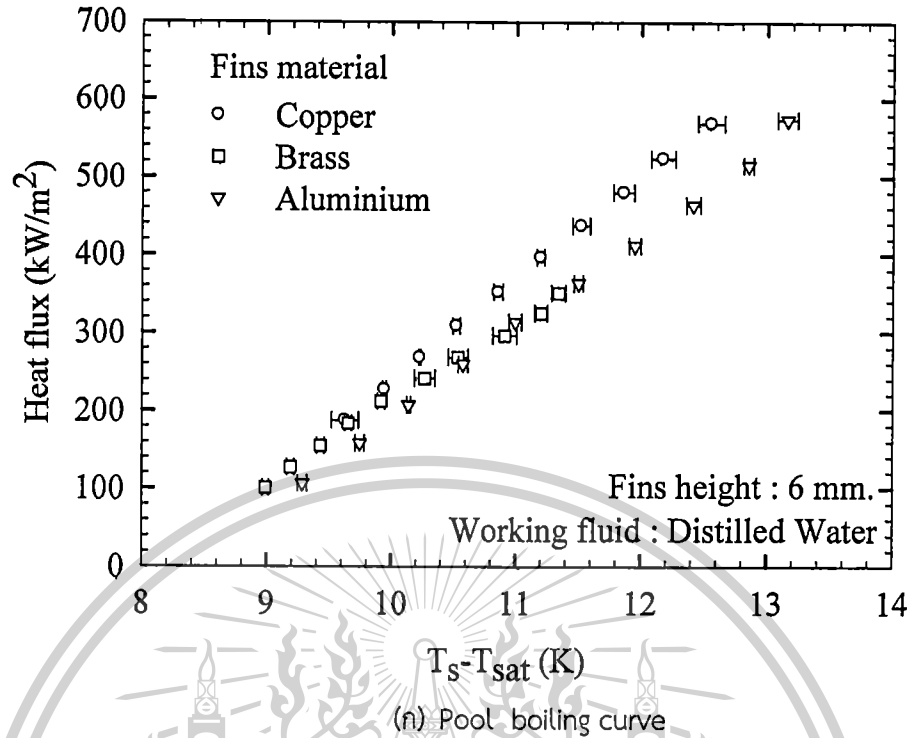
(ข) Pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 5.4 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminium micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ความสูง fin 4 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ข) Pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 5.5 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin และ Aluminium micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ความสูง fin 6 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.3 ผลของ Fin high ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

จากการทดลองเป็นการวิเคราะห์ผลของวัสดุพื้นผิวให้ความร้อนของ fin ที่มีผลต่อคุณลักษณะ pool boiling curve และ heat transfer coefficient ซึ่งทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศ ข้อมูลของ mini fin มีดังนี้ ความหนาของ micro porous - fin 1 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm. ความหนาของแผ่น fin 2 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm. นอกจากนี้ ในการทดลองได้ทำการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวให้ความร้อนเป็น Copper, Brass และ Aluminum ผลของการทดลองแสดงในรูปที่ 5.6 ถึง 5.8 มีรายละเอียดดังนี้

พิจารณาคคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวให้ความร้อนที่ทำการแปลงเปลี่ยนจำนวนความสูงของ micro porous - fin เป็น 2, 4 และ 6 mm. ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ถึง 5.5 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ nucleate pool boiling ของน้ำกลั่นที่ติดตั้ง micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนเป็น Copper, Brass และ Aluminum ตามลำดับ

รูปที่ 5.6 (ก) 5.7 (ก) และ 5.8 (ก) เป็นกราฟ boiling curve ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_s - T_{sat}$ กับค่า heat flux จากกราฟผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลการทดลองอยู่ในช่วง $T_s - T_{sat}$ ที่ประมาณ 8-18 °C จากกราฟเมื่อ $T_s - T_{sat}$ เพิ่มขึ้น จะส่งผลทำให้ค่าของ heat flux เพิ่มขึ้นด้วยในทุกๆ การทดลอง นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวให้ความร้อนเป็น Copper, Brass และ Aluminum ที่พื้นผิวให้ความร้อนเป็น Copper จะให้ค่า heat transfer coefficient สูงกว่า Brass และ Aluminum ตามลำดับ

รูปที่ 5.6 (ข) 5.7 (ข) และ 5.8 (ข) แสดงกราฟ pool boiling heat transfer coefficient ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง heat flux กับค่า heat transfer coefficient จากกราฟผลการทดลองพบว่า เมื่อเทียบที่ค่า heat flux เดียวกัน ค่า heat transfer coefficient ของ micro porous - fin ที่ความสูง fin 2, 4 และ 6 mm. เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ non fin ดังต่อไปนี้

Copper micro porous - fin ที่ความสูงของ fin 2, 4 และ 6 mm. เพิ่มขึ้นเป็น 16.5%, 30% และ 38.3% ตามลำดับ

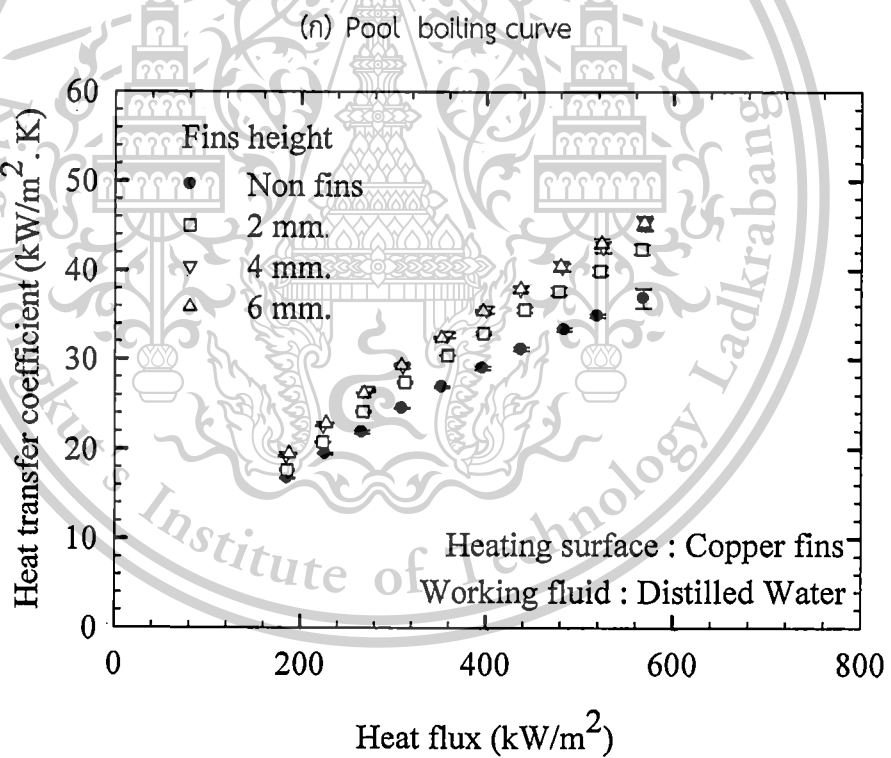
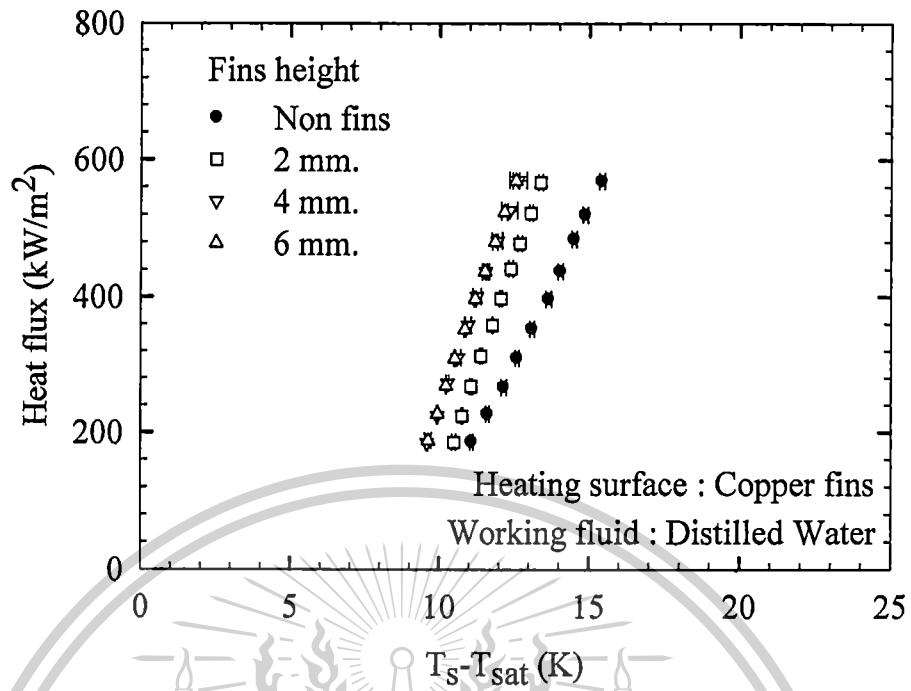
Brass micro porous - fin ที่ความสูงของ fin 2, 4 และ 6 mm. เพิ่มขึ้นเป็น 12.5%, 21.4% และ 27.4% ตามลำดับ

Aluminum micro porous - fin ที่ความสูงของ fin 2, 4 และ 6 mm. เพิ่มขึ้นเป็น 14.8%, 26.3% และ 33.6% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



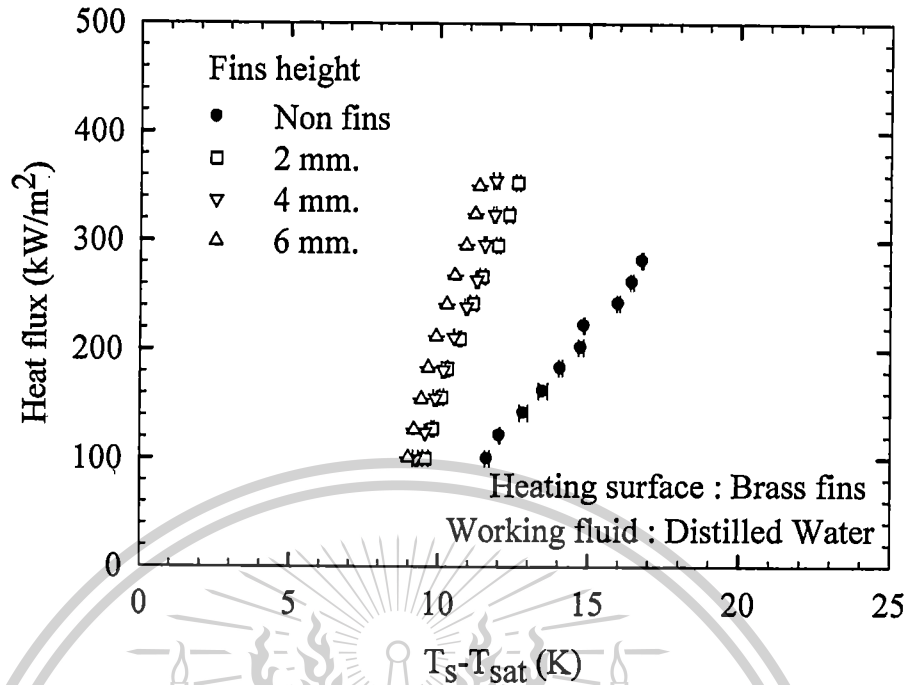
(n) Pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 5.6 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Copper micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ความสูง fin 2, 4 และ 6 mm.

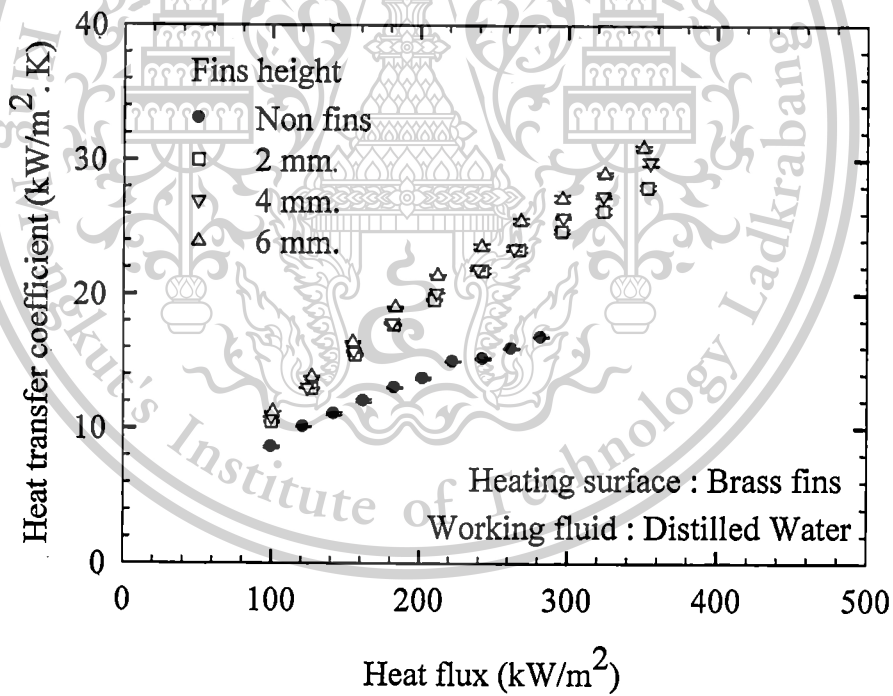
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก) Pool boiling curve



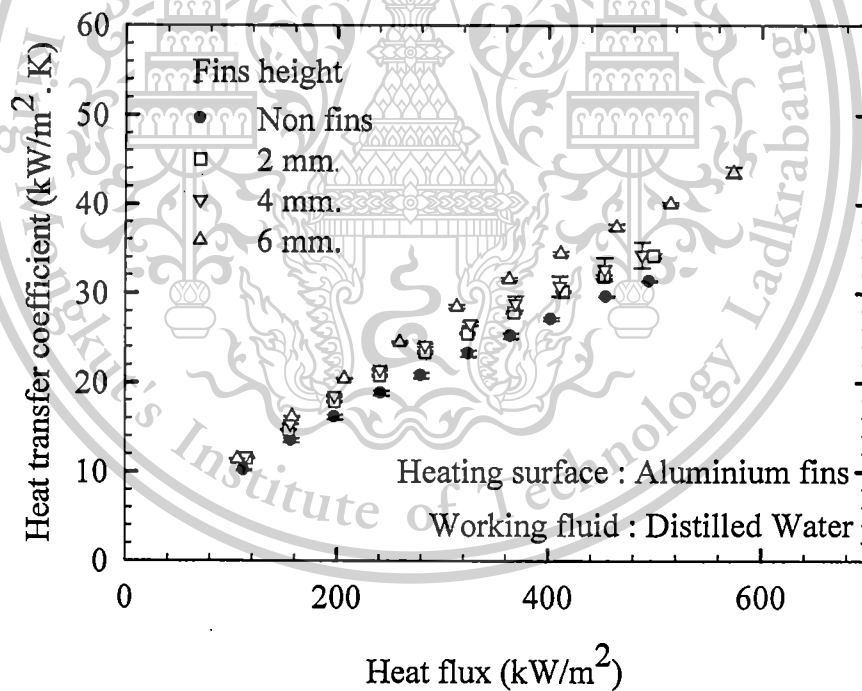
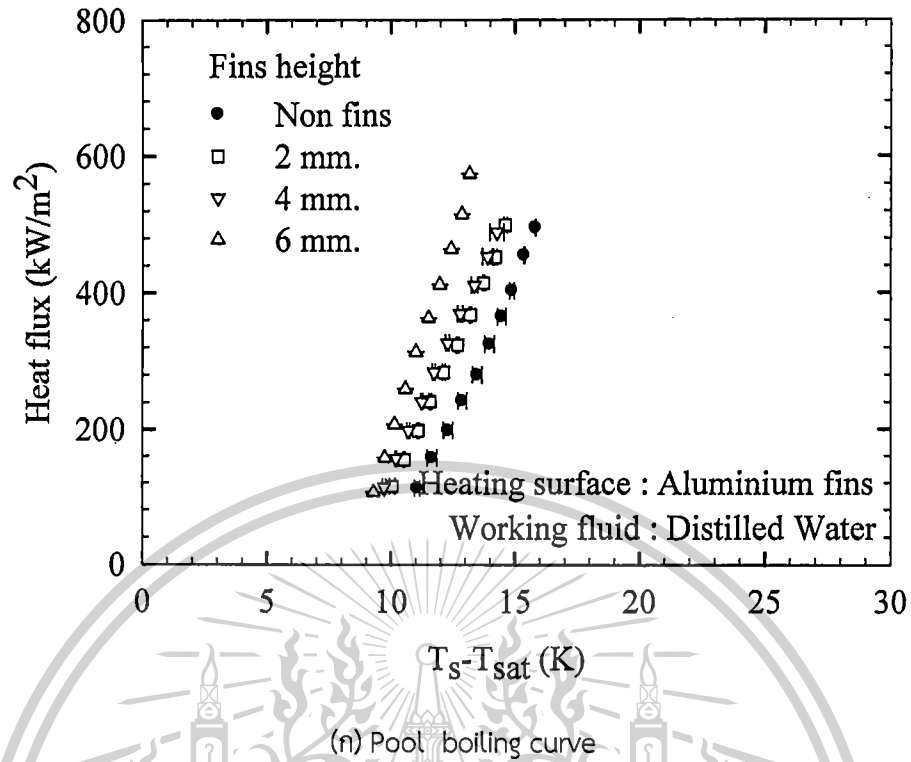
(ข) Pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 5.7 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Brass micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ความสูง fin 2, 4 และ 6 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.8 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำโดยติดตั้ง Aluminum micro - porous fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่มีความสูง fin 2, 4 และ 6 mm.

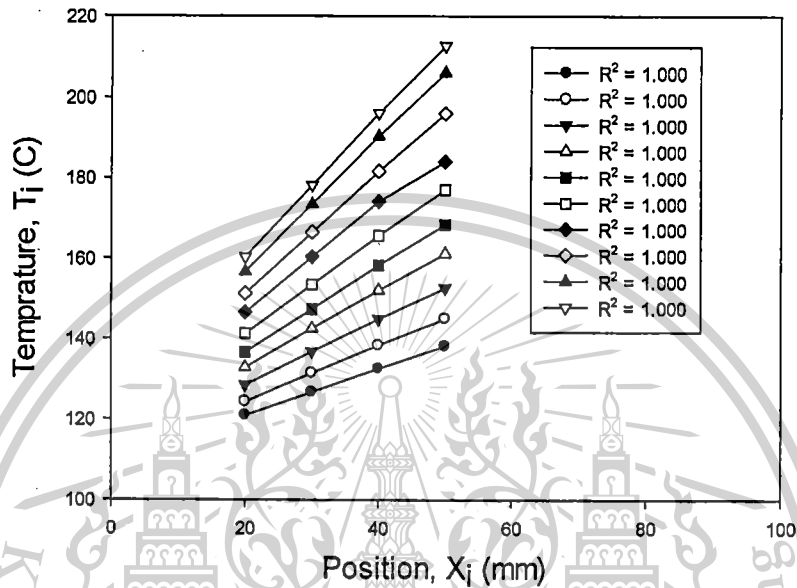
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.4 การถ่ายเทความร้อนใน 1 มิติ

การถ่ายเทความร้อนสำหรับการทดลองนี้ เป็นการถ่ายเทความร้อนใน 1 มิติ เนื่องจากความร้อนที่ถูกส่งผ่านมาจาก Heater ถูกห่อหุ้มด้วย แคลเซียมซิลิเกต เพื่อกันความร้อนออกทางด้านข้าง ความร้อนที่เกิดจาก Heater จึงถ่ายเทขึ้นทางด้านบนเพียงอย่างเดียว ซึ่งทราบได้จากค่า R^2 ที่เข้าใกล้ 1.000 ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 การกระจาย temperature ตามแนวแกน สำหรับการทดลองบน Copper micro porous - fin 4 mm.

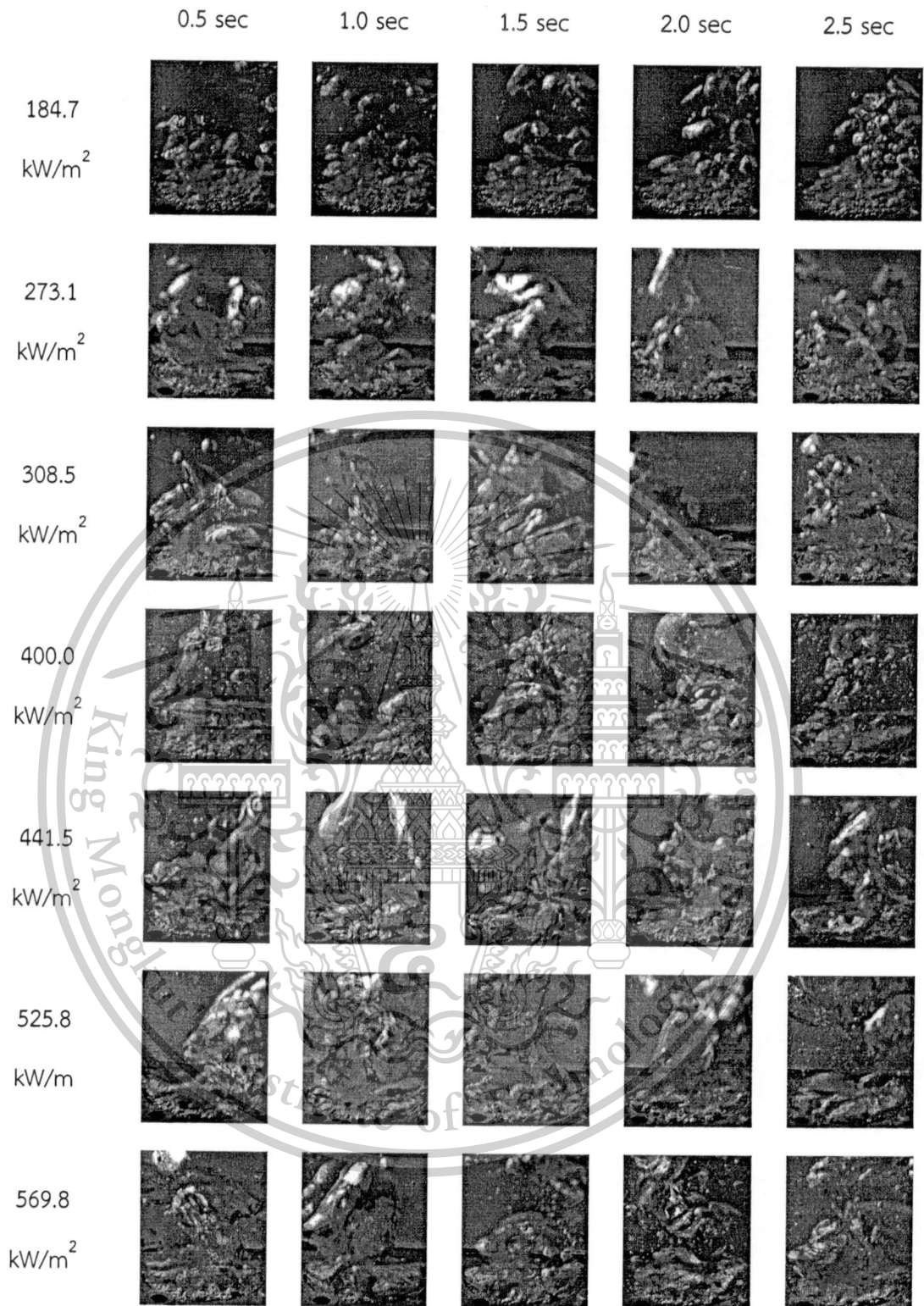
5.5 ปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Non fin , Copper micro porous - fin, Brass micro porous - fin and Aluminum micro porous - fin บนพื้นผิวให้ความร้อน

ในช่วงฟลักซ์ความร้อนต่ำประมาณ $180-190 \text{ kW/m}^2$ นั้นจะมีการเกิดฟองเดี่ยว ๆ เป็นก้อนกลมที่ตำแหน่งการเกิดฟองแยกกัน การแยกนี้จะทำให้เกิดการผสมกันของของไหลที่ใกล้ผิวทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) และค่าฟลักซ์ความร้อน (q) เพิ่มขึ้นในช่วงนี้การถ่ายเทความร้อนจะผ่านผิวไปสู่ของเหลวโดยตรงไม่ได้จึงผ่านฟองที่ลอยตัวขึ้นไป เมื่อเพิ่มค่าฟลักซ์ความร้อนขึ้นเรื่อย ๆ จะเริ่มเกิดฟองขึ้นทำให้ฟองโอบนเปกกันไปมาและรวมตัวกันเข้าไวจะลอยขึ้นไปเป็นลำ (Jet) หรือเป็นเสา (Column) ซึ่งจะเข้าประสานเป็นเกลียวก่อนไอน้ำในช่วงฟลักซ์ความร้อนประมาณ $550-570 \text{ kW/m}^2$ ของพื้นผิวให้ความร้อน Copper และในช่วงฟลักซ์ความร้อนประมาณ $420-440 \text{ kW/m}^2$ ของพื้นผิวให้ความร้อน Brass และ Aluminum ซึ่งจะสอดคล้องกับจุดหักเหของเส้นโค้งการเดือด ซึ่งสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) จะสูงสุดที่จุดนี้ หากเพิ่มค่าฟลักซ์ความร้อน ไปอีกจะเกิดค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

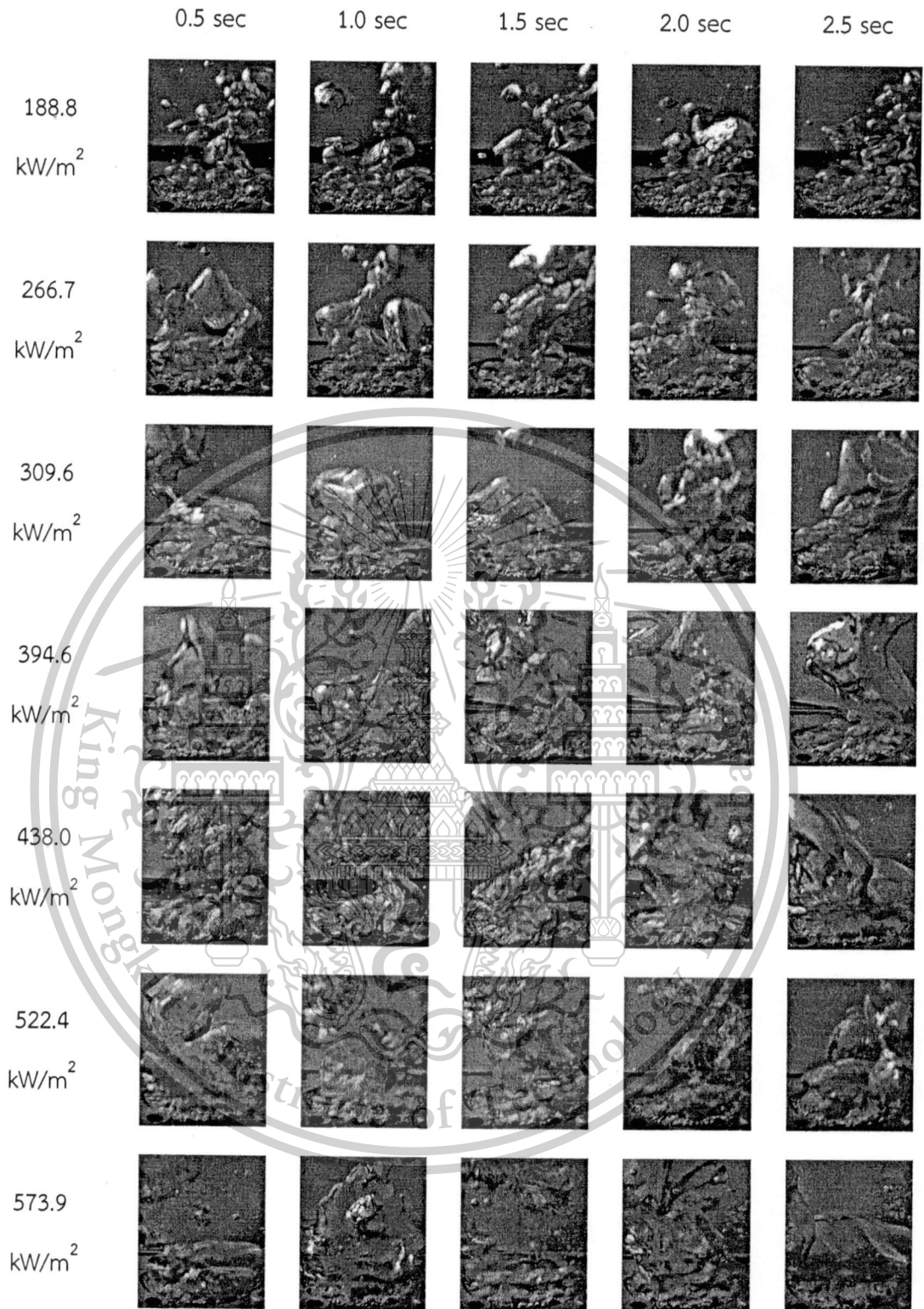


รูปที่ 5.10 การกระจาย temperature ตามแนวแกน สำหรับการทดลองบน
Copper micro porous - fin 4 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

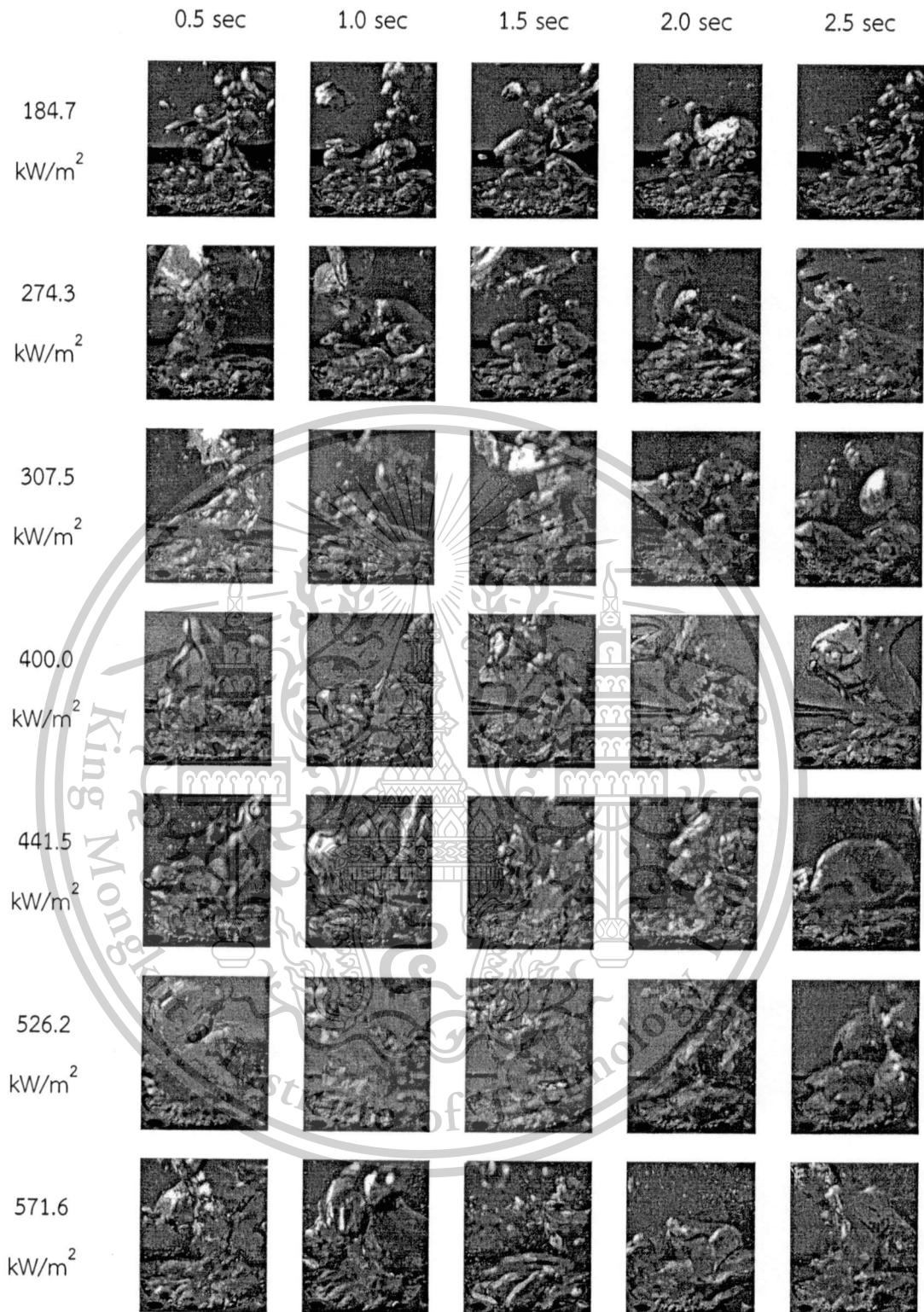


รูปที่ 5.11 การกระจาย temperature ตามแนวแกน สำหรับการทดลองบน
Copper micro porous - fin 4 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

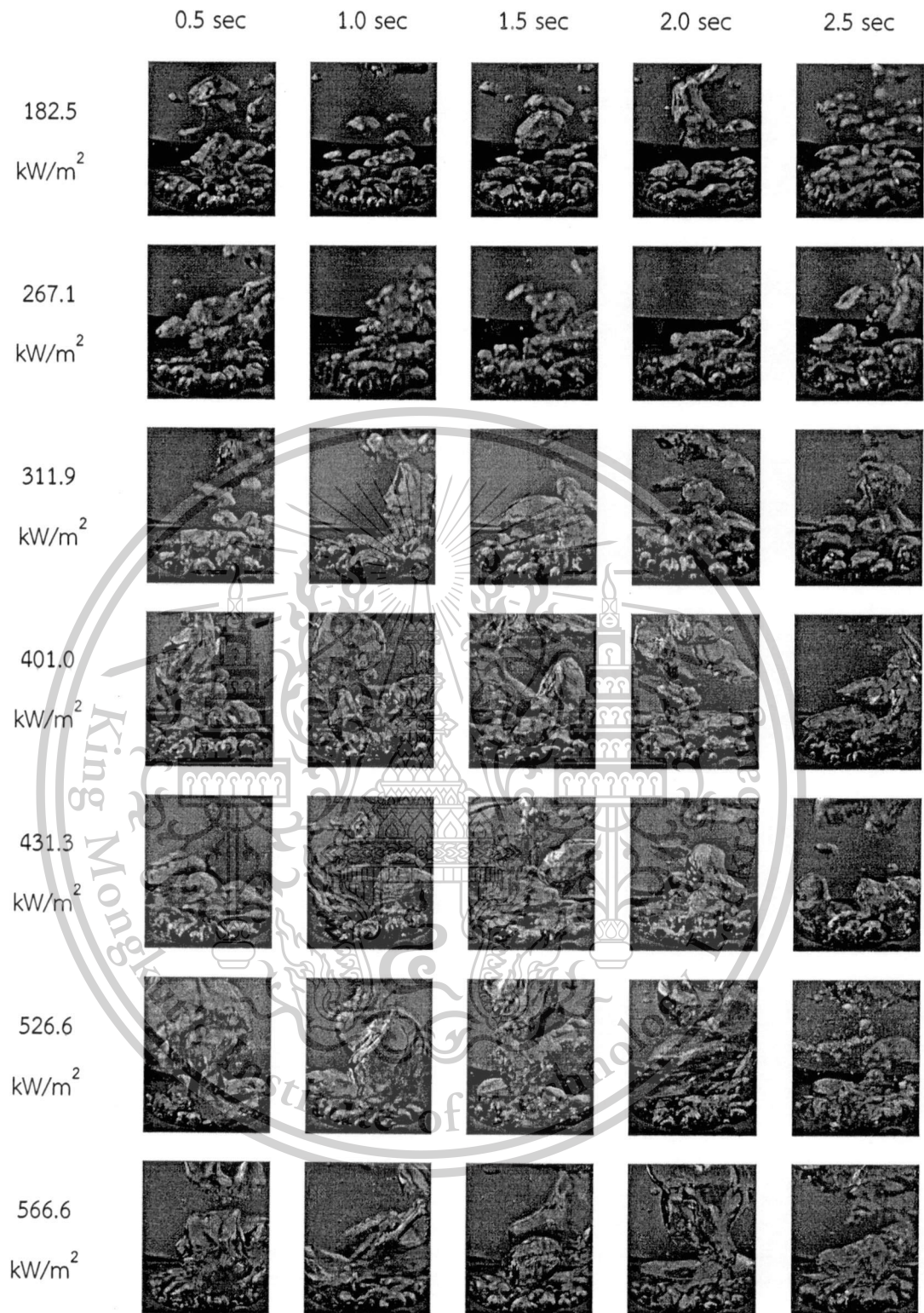


รูปที่ 5.12 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด Non fin ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

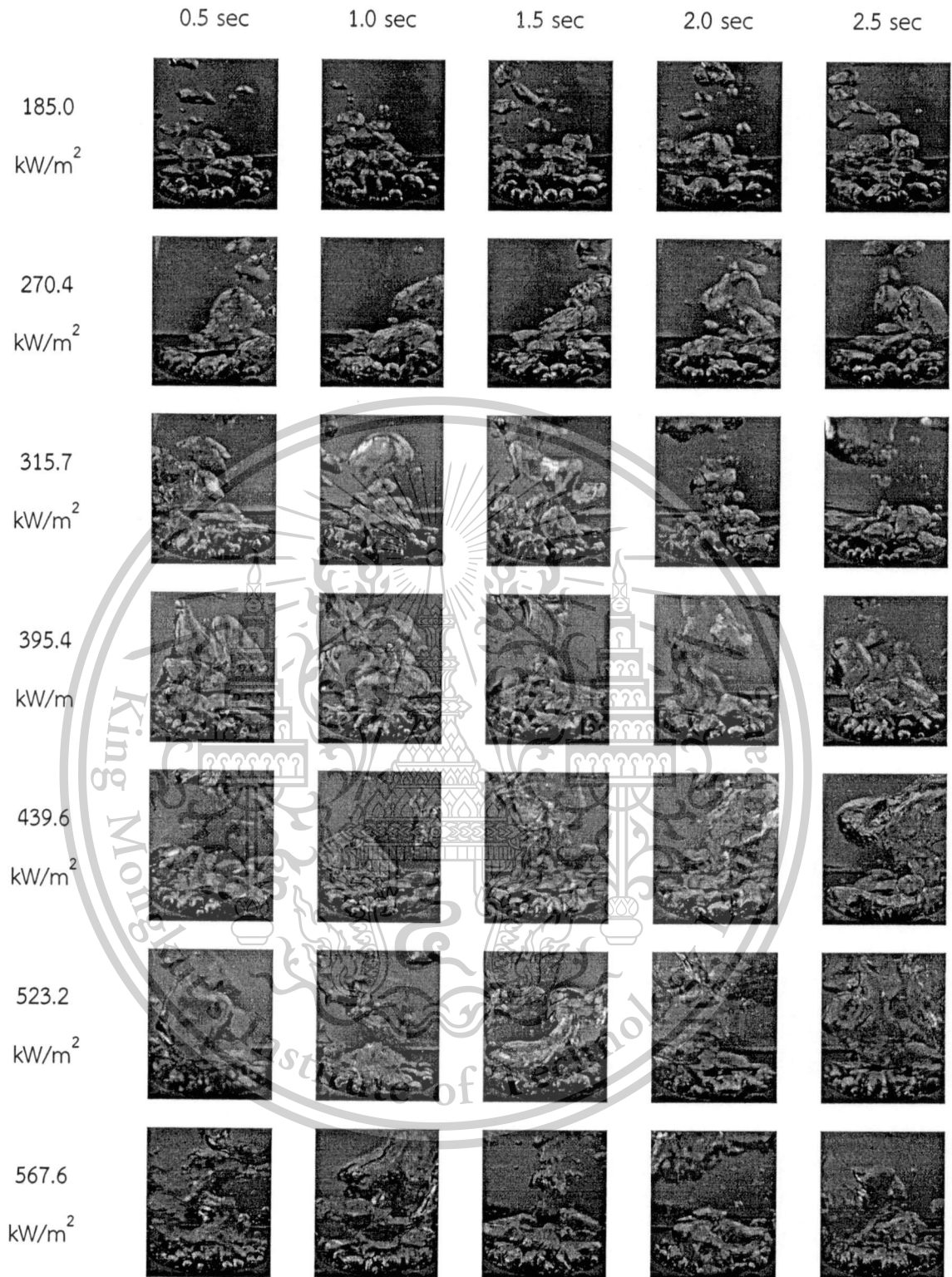


รูปที่ 5.13 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 2 mm.
ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

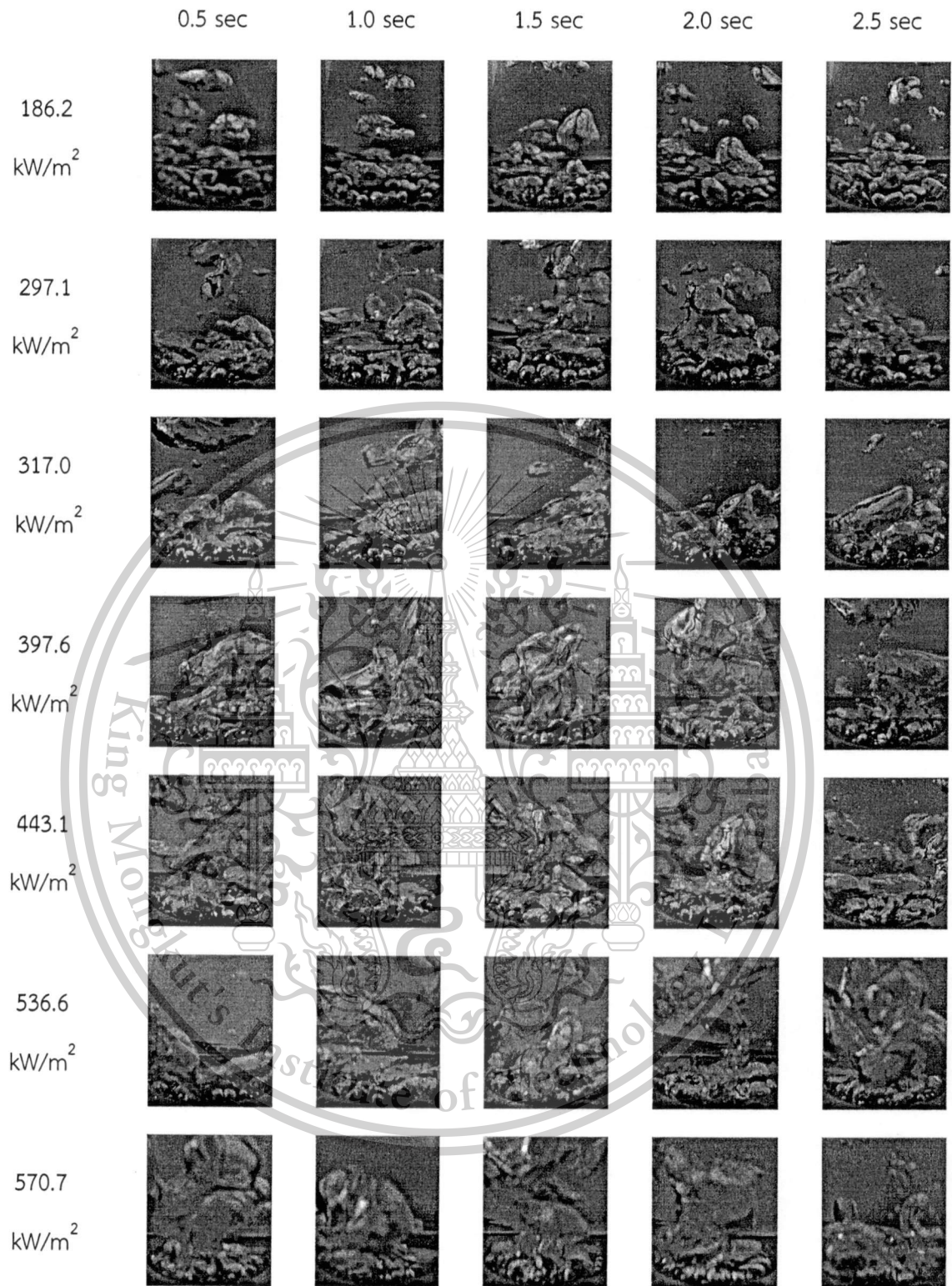


รูปที่ 5.14 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

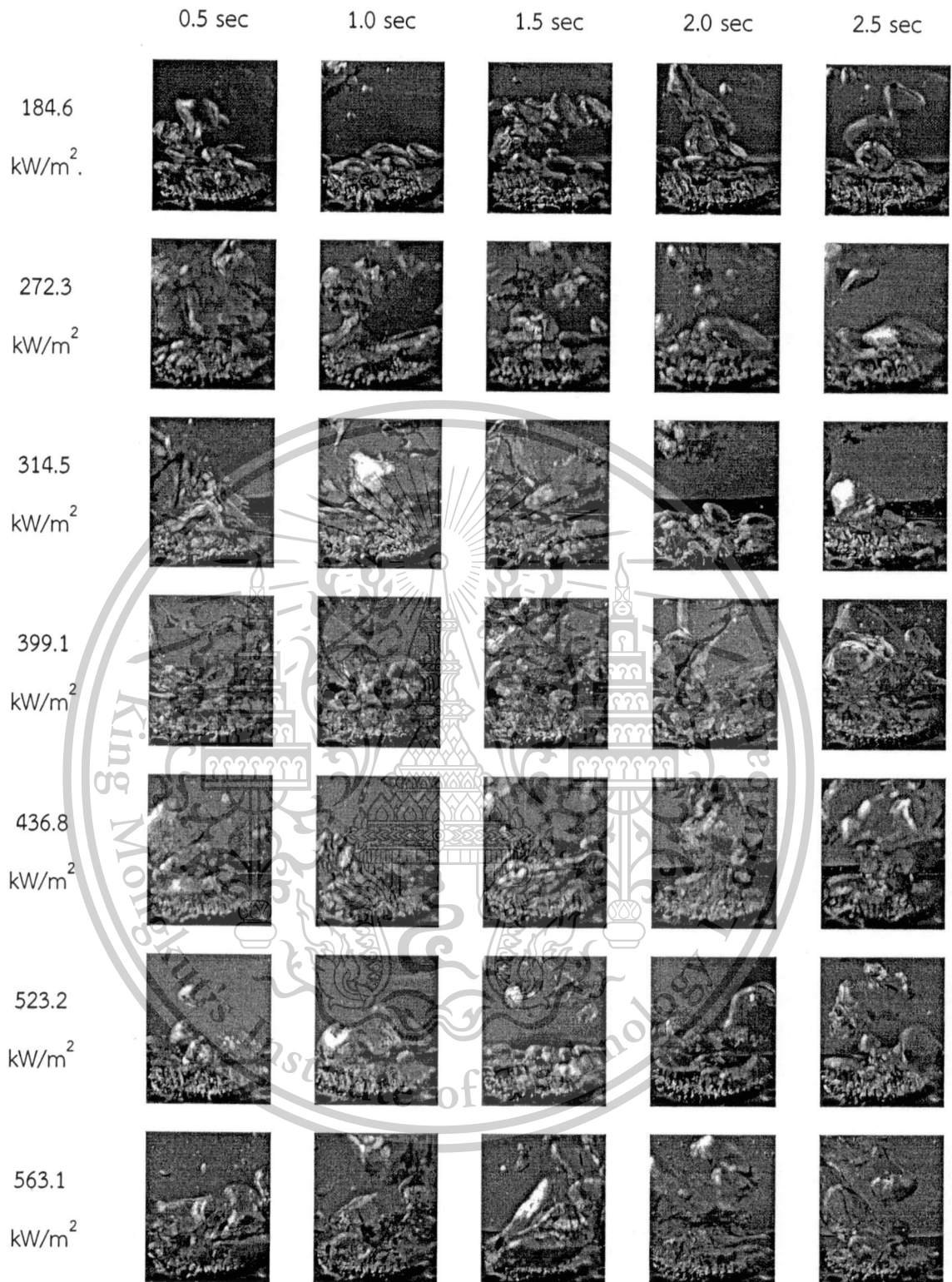


รูปที่ 5.15 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

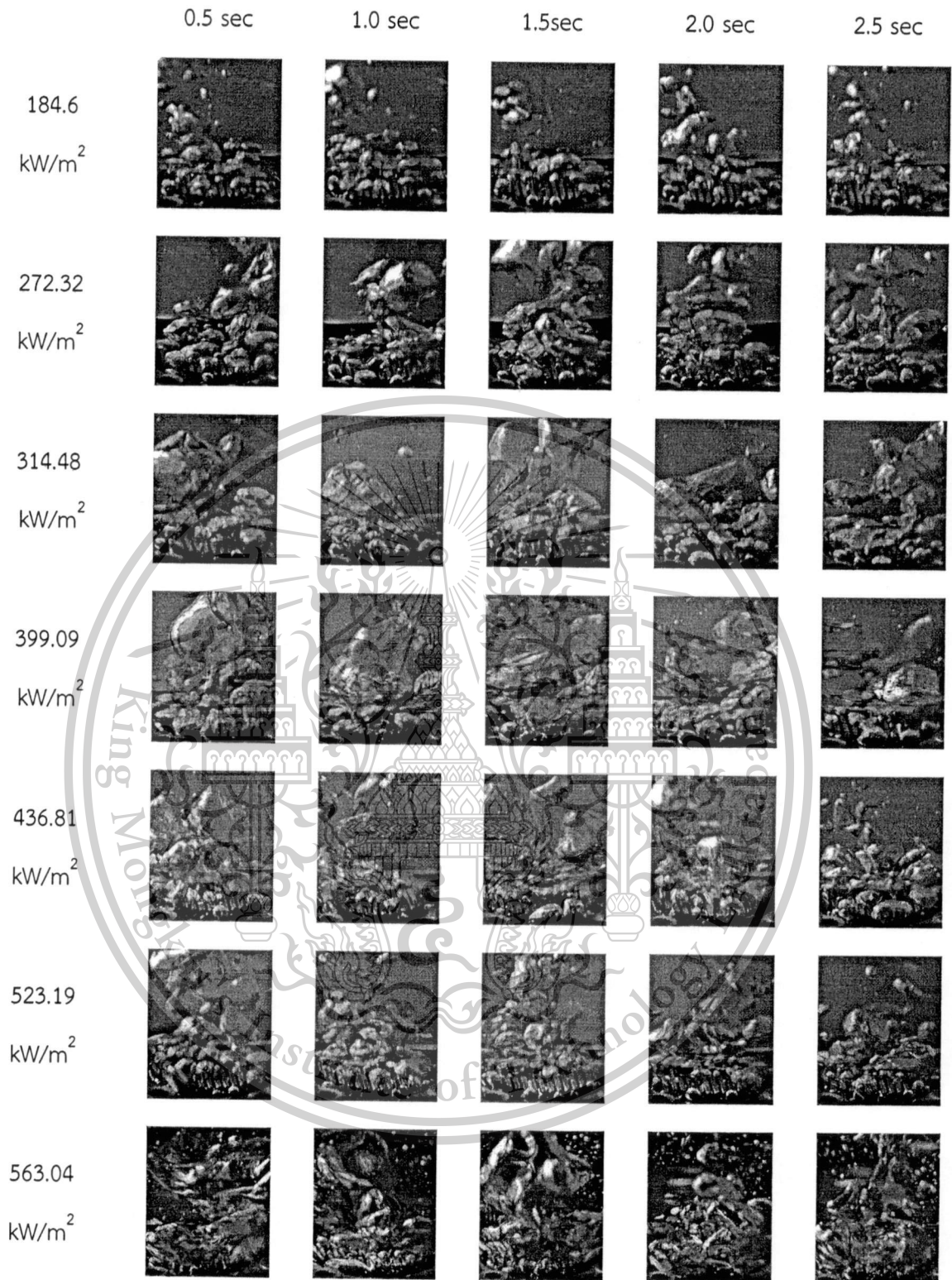


รูปที่ 5.16 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

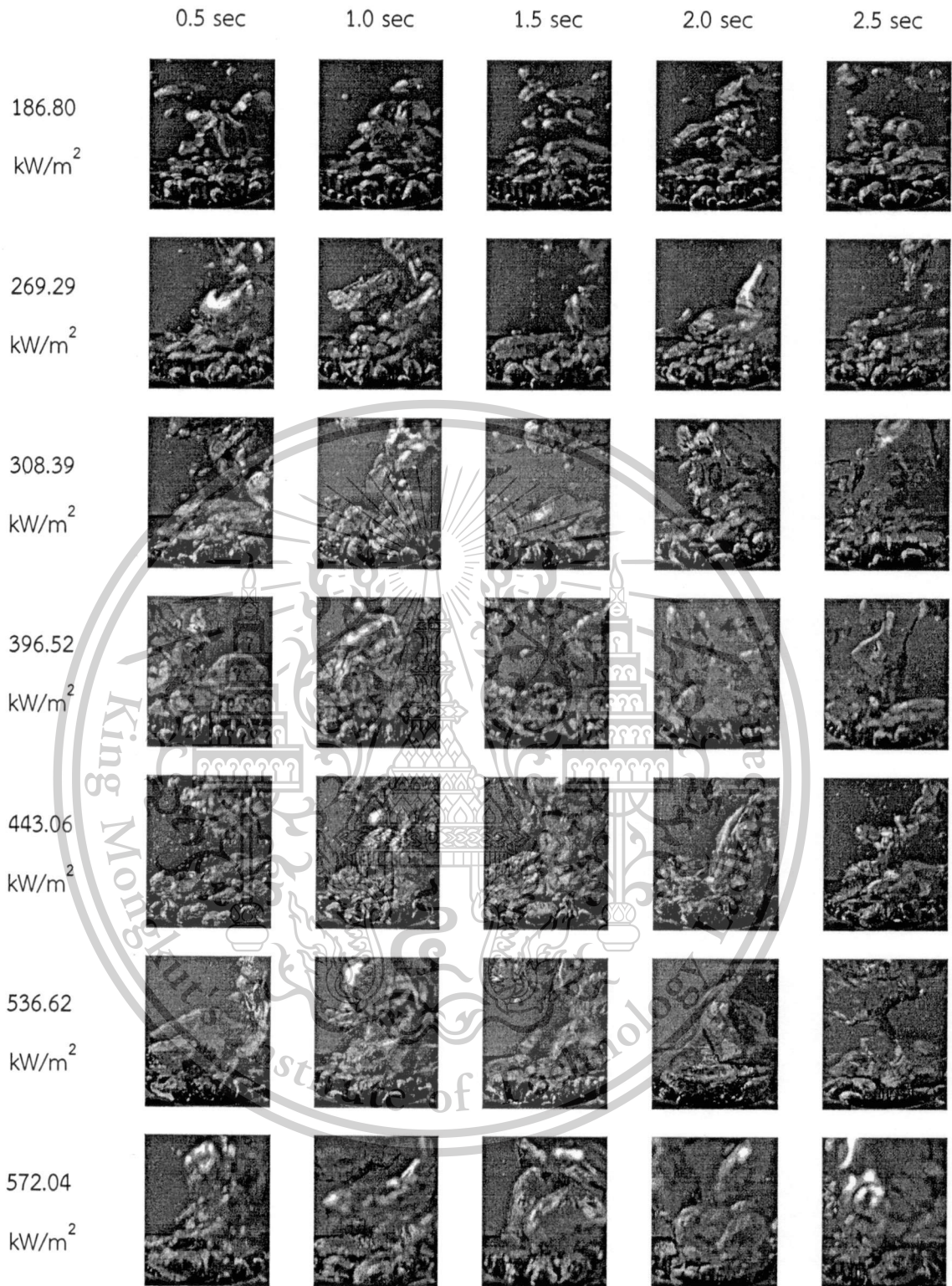


รูปที่ 5.17 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

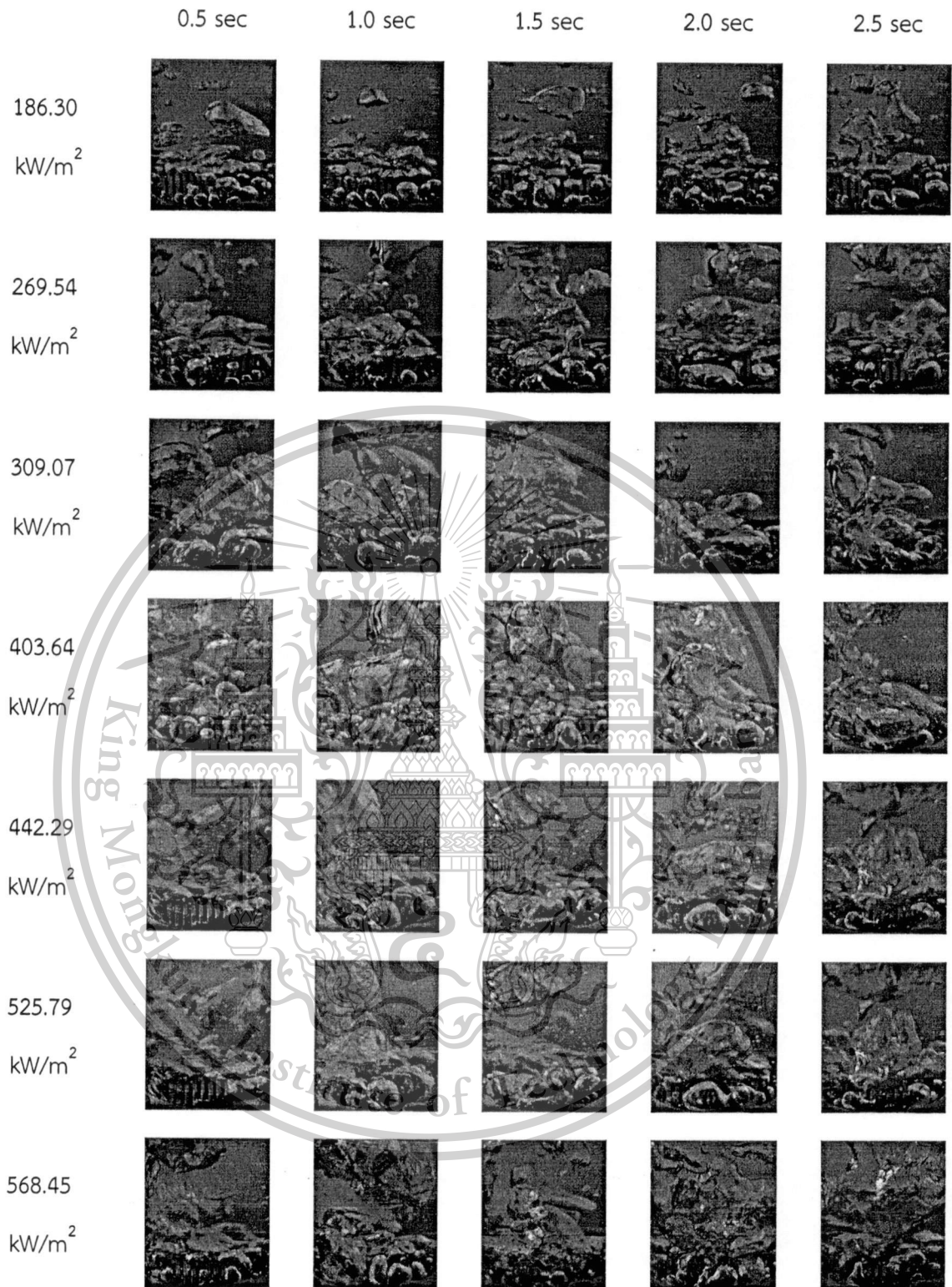


รูปที่ 5.18 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

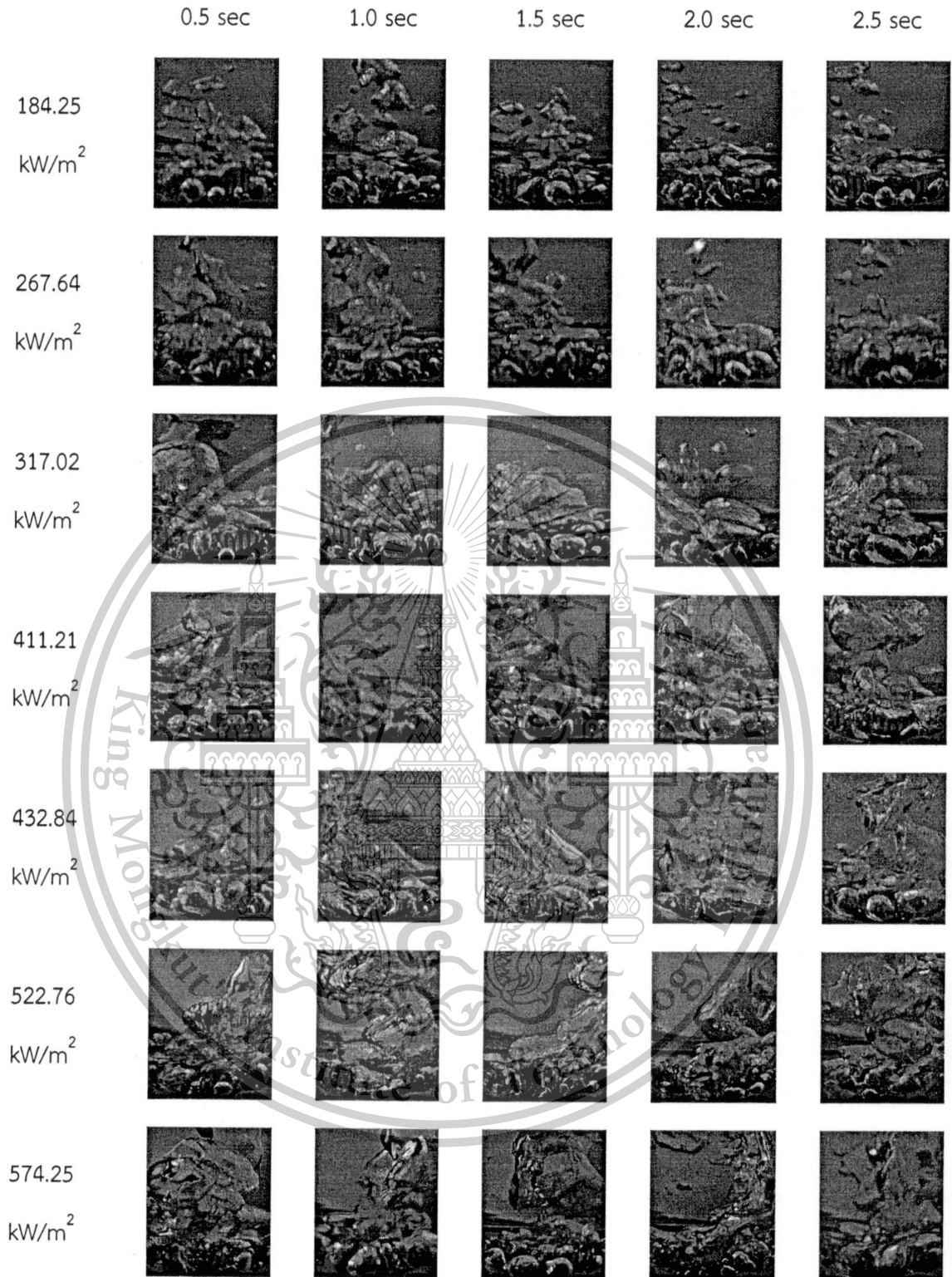


รูปที่ 5.19 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 6 mm.
ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

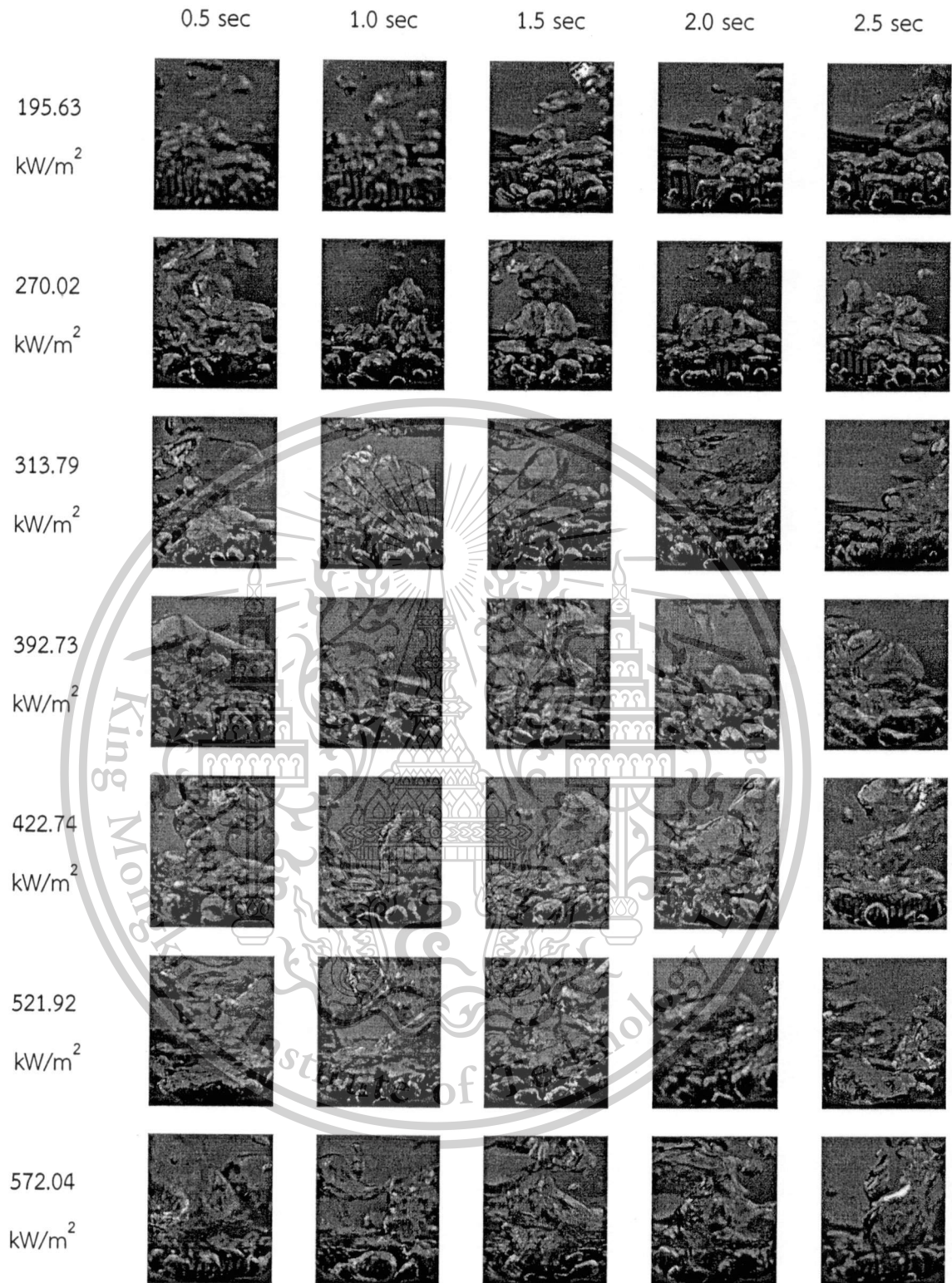


รูปที่ 5.20 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

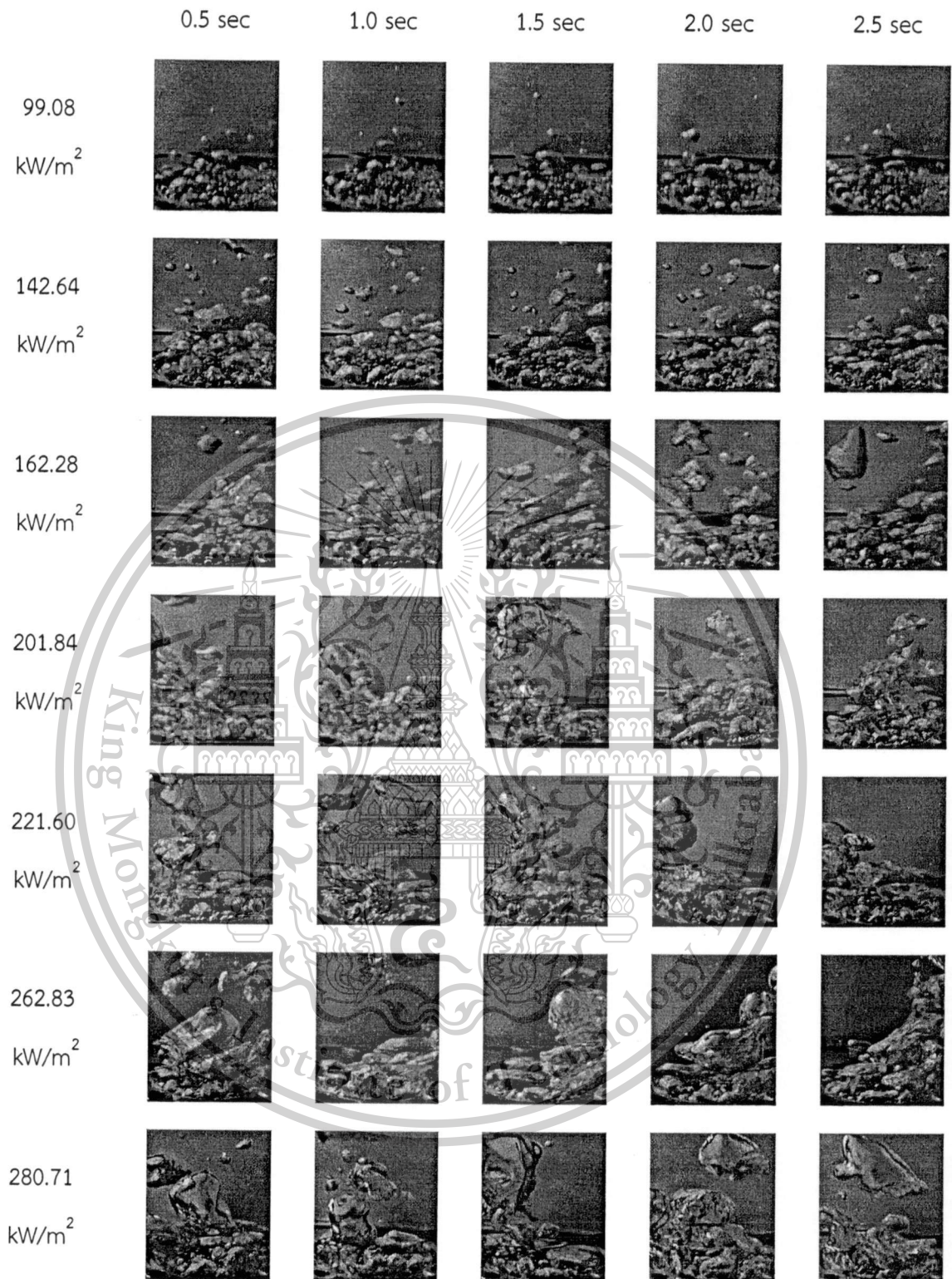


รูปที่ 5.21 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Copper ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

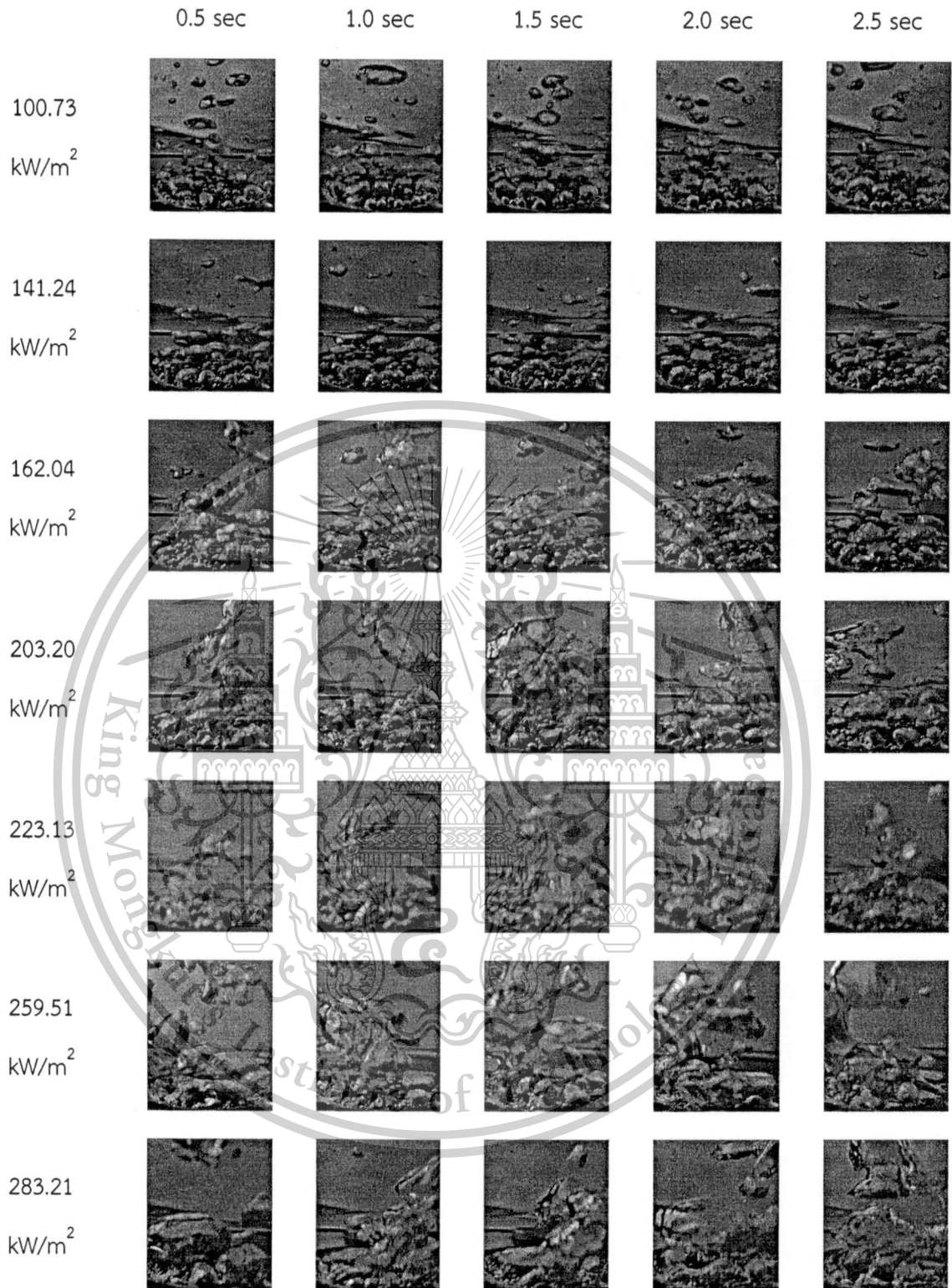


รูปที่ 5.22 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด Non fin ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

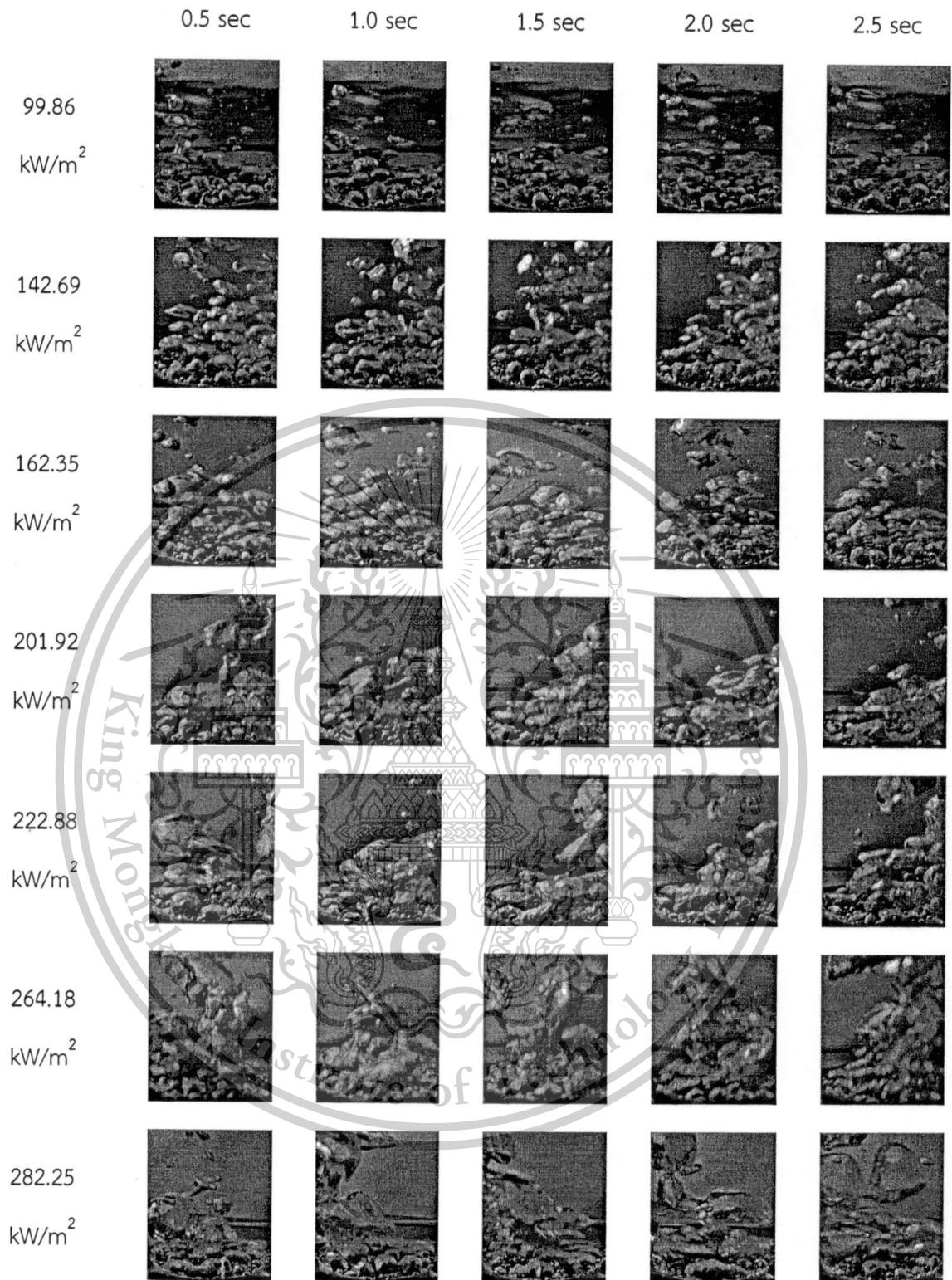


รูปที่ 5.23 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด Non fin ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

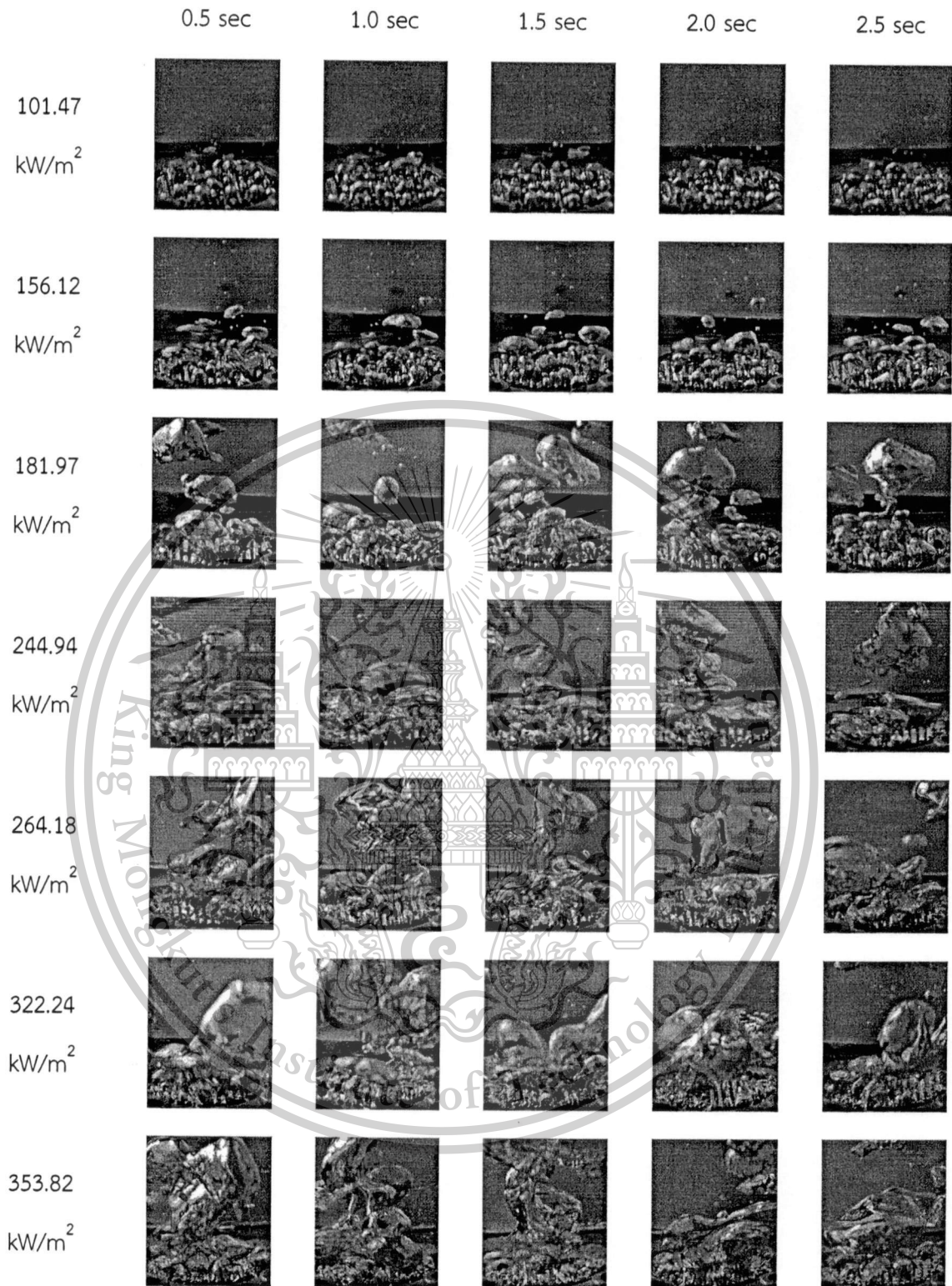


รูปที่ 5.24 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด Non fin ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

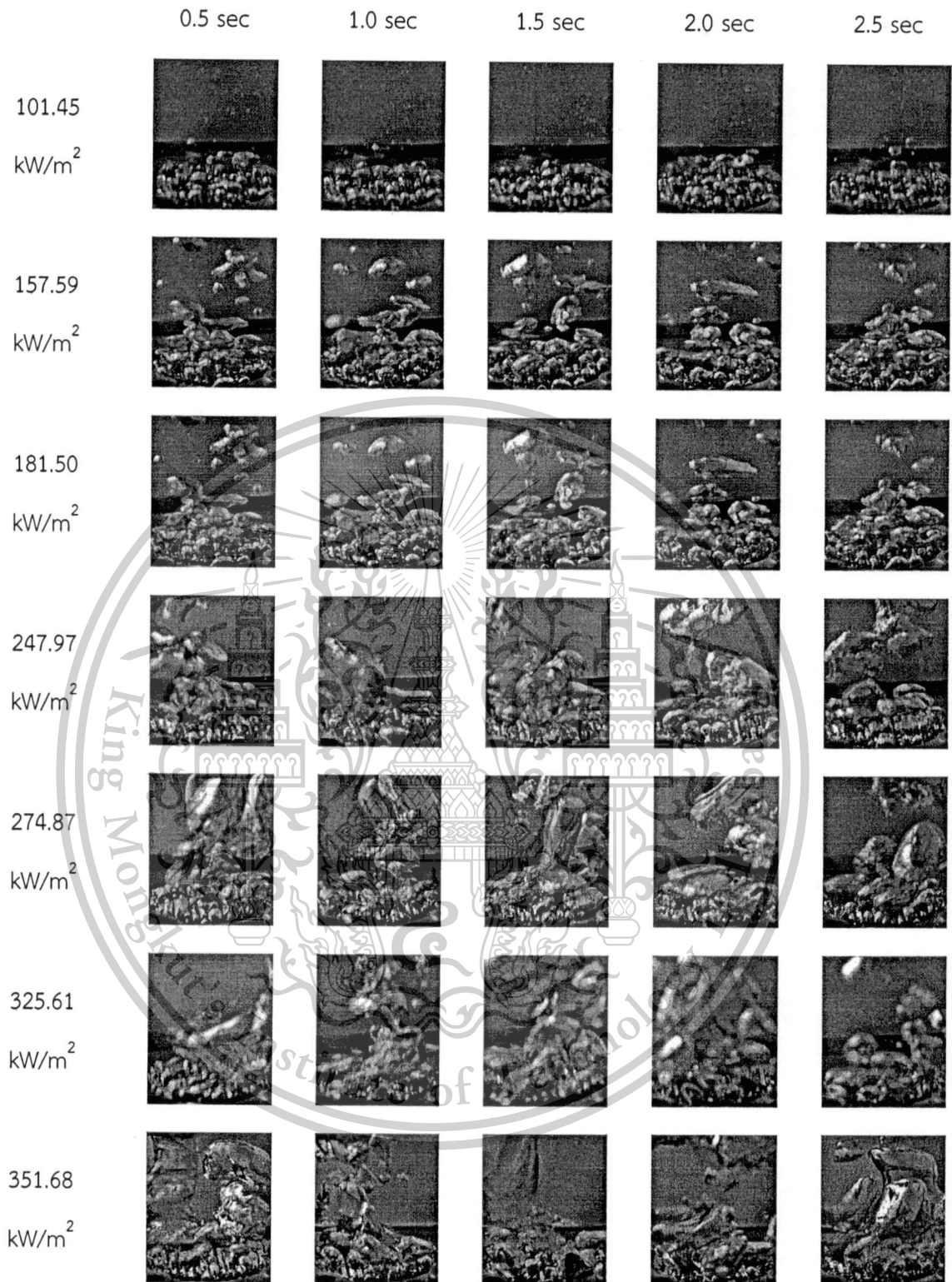


รูปที่ 5.25 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 2 mm.
ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

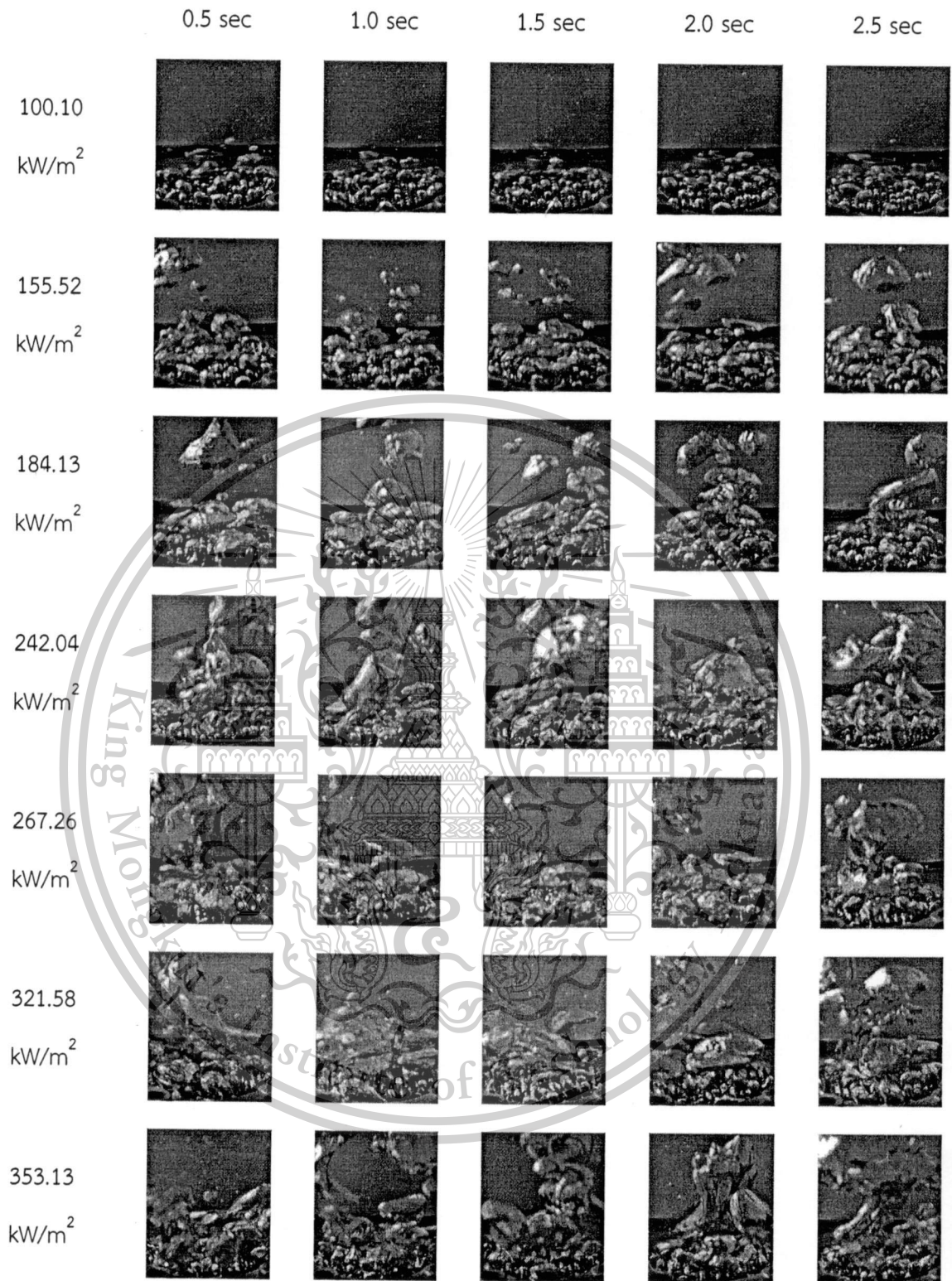


รูปที่ 5.26 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 2 mm.
ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

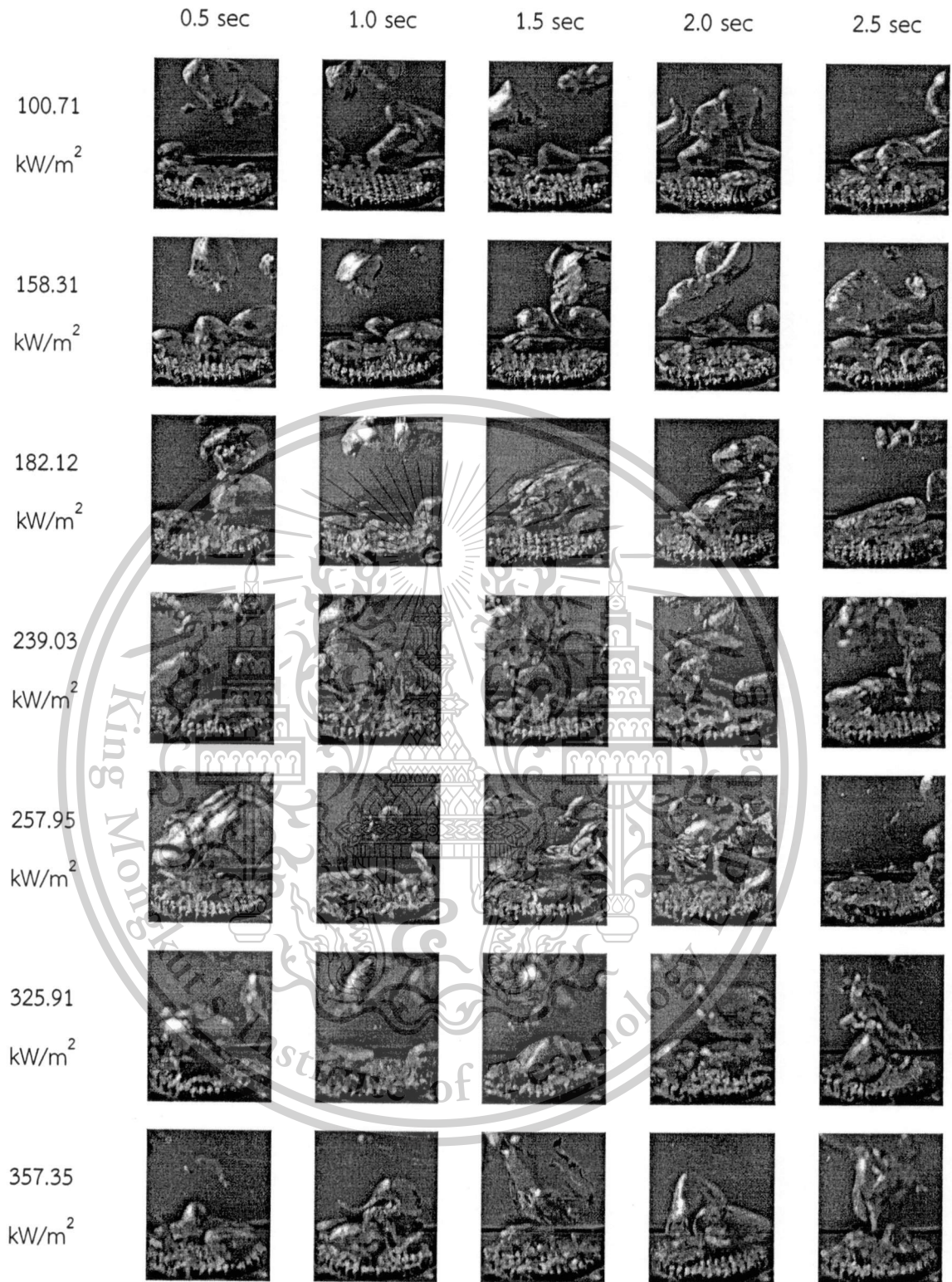


รูปที่ 5.27 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

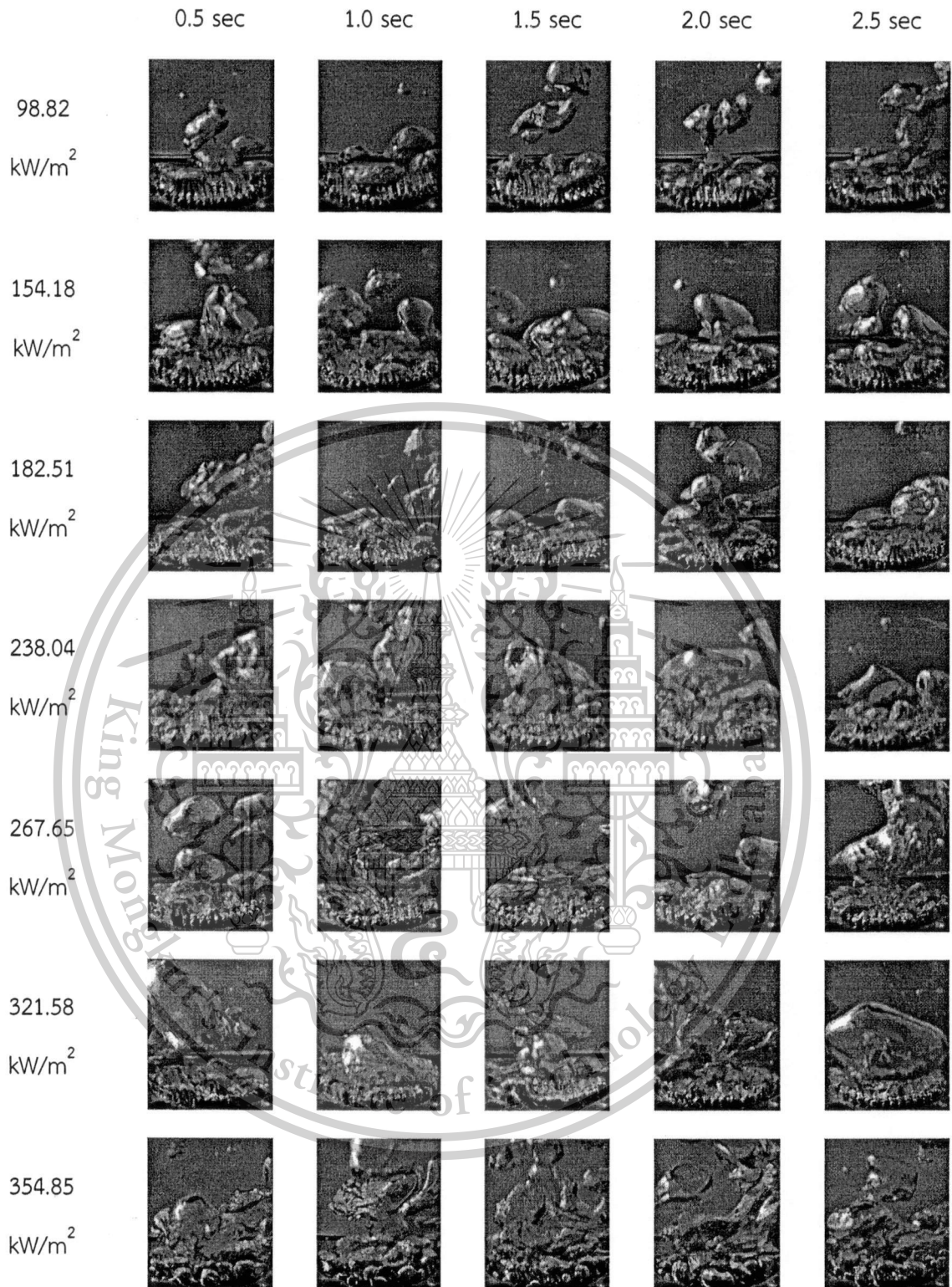


รูปที่ 5.28 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 4 mm.
ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

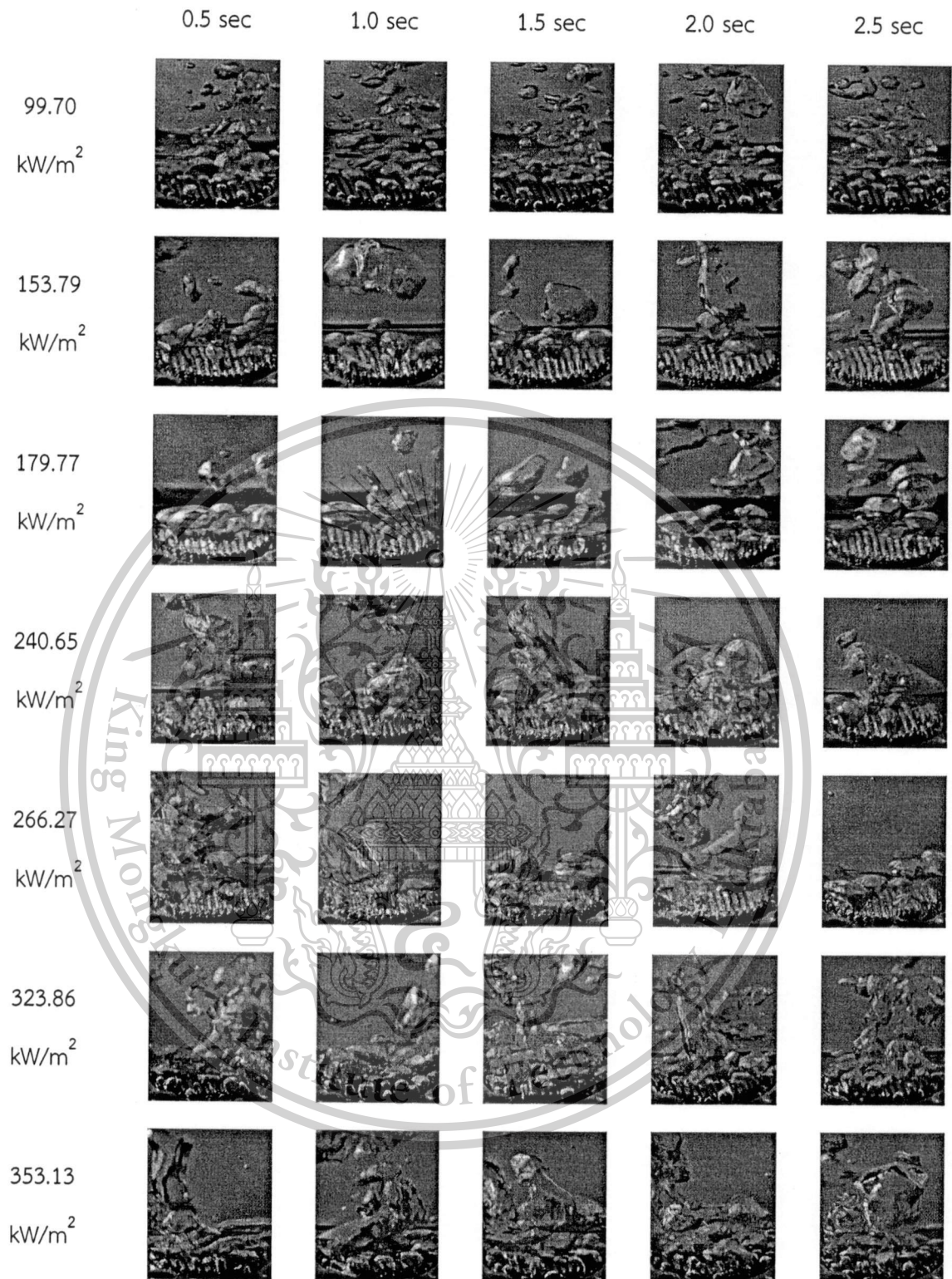


รูปที่ 5.29 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 4 mm.
ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

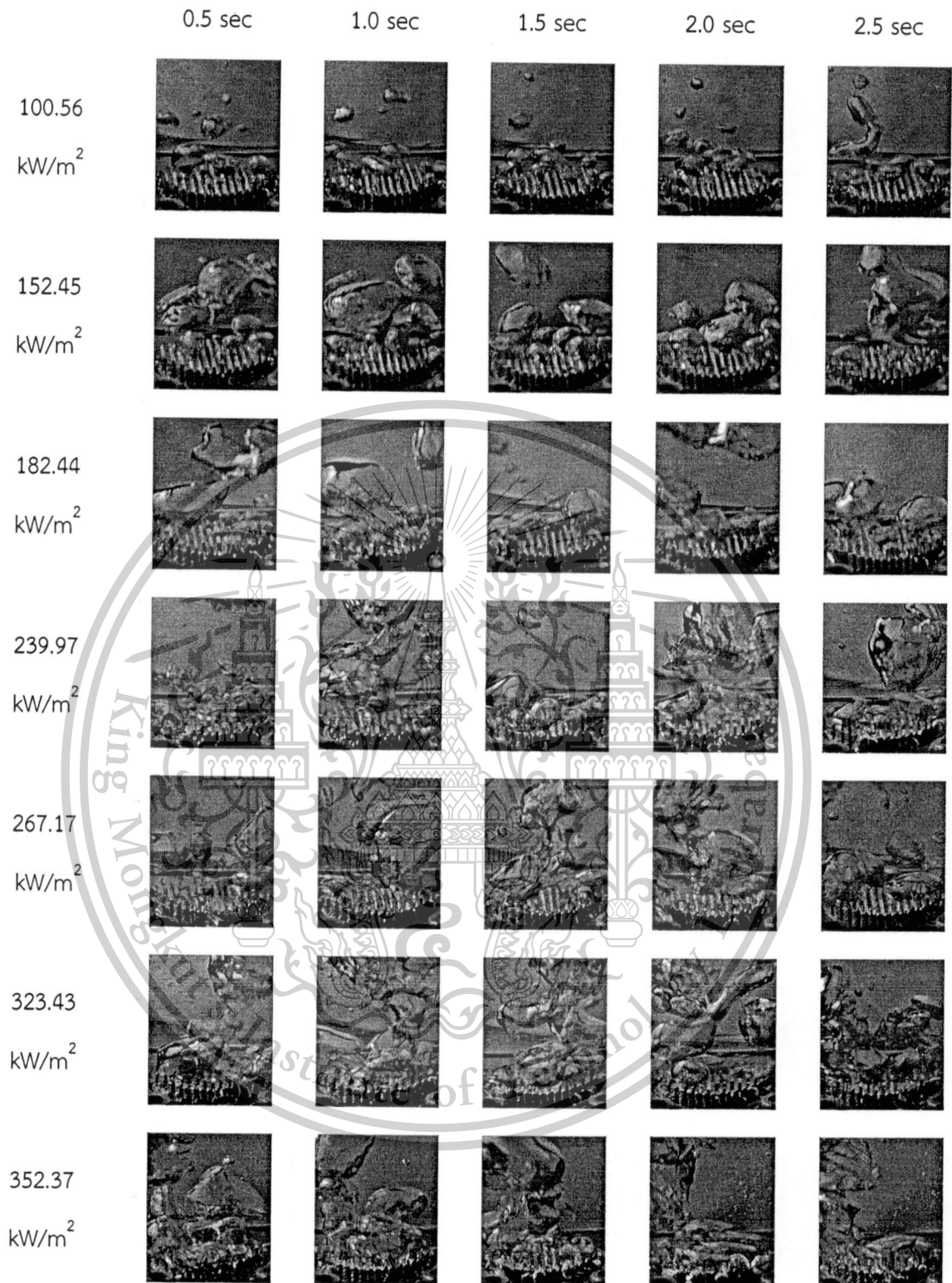


รูปที่ 5.30 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 4 mm.
ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

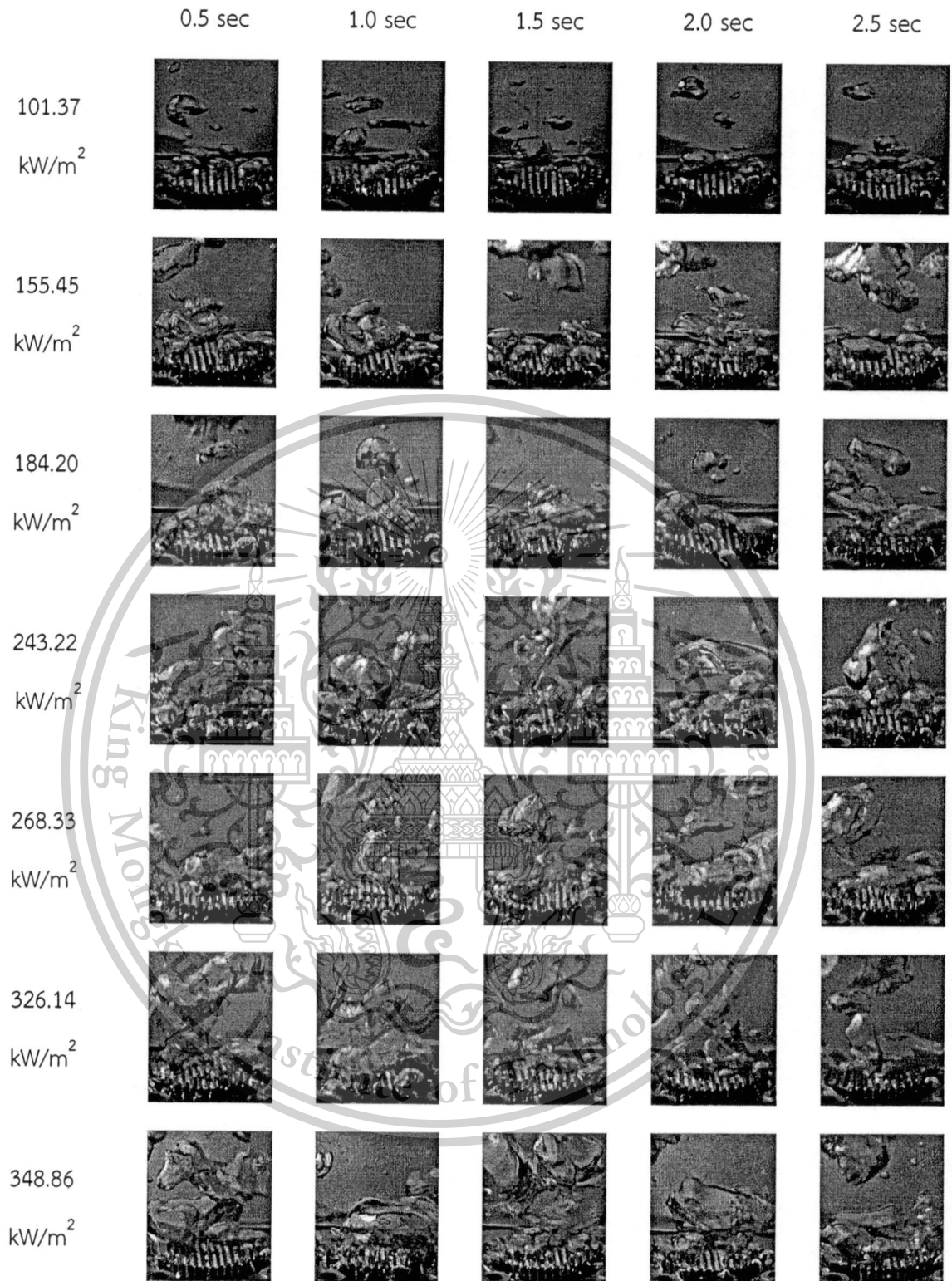


รูปที่ 5.31 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 6 mm.
ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

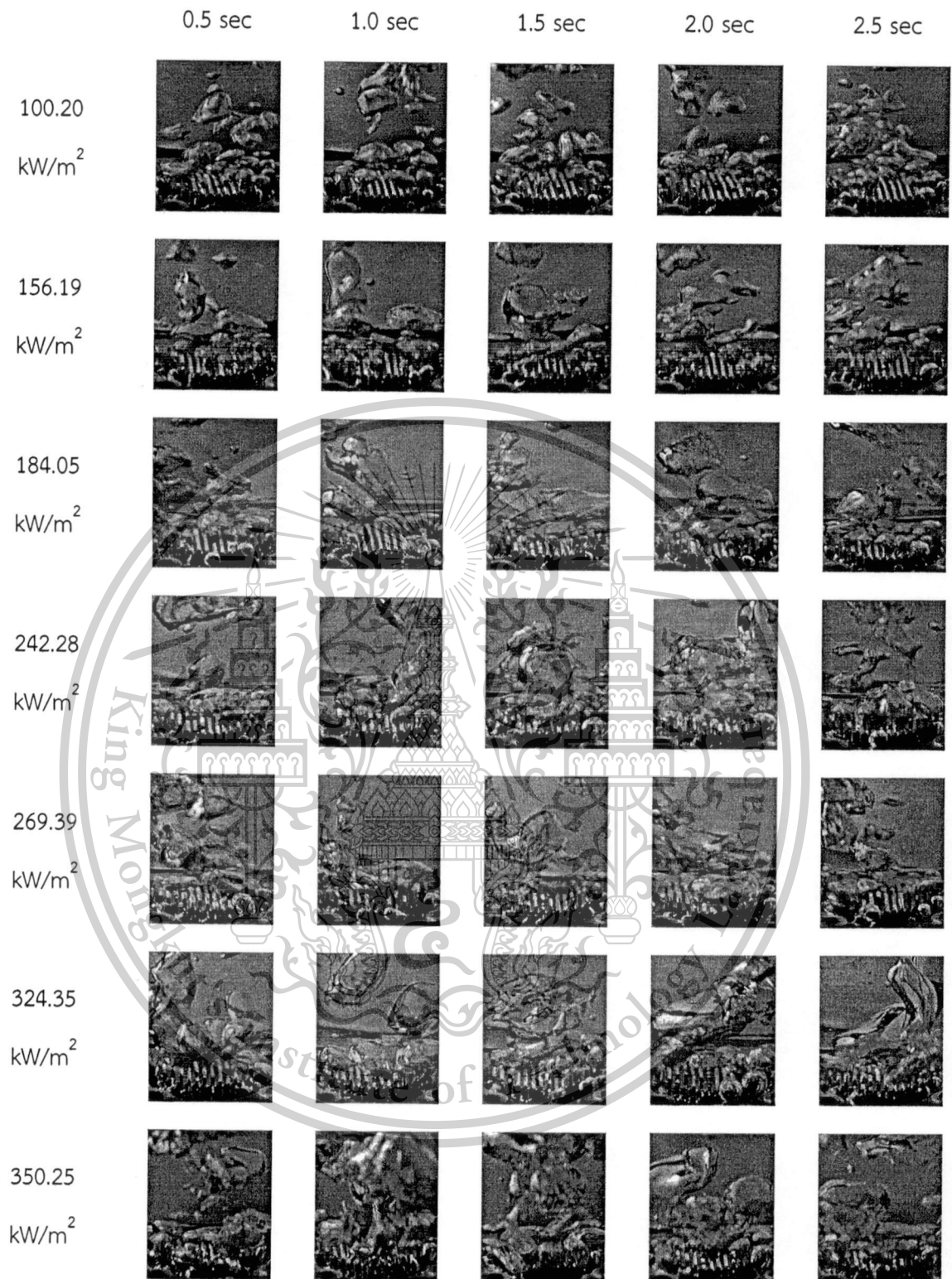


รูปที่ 5.32 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

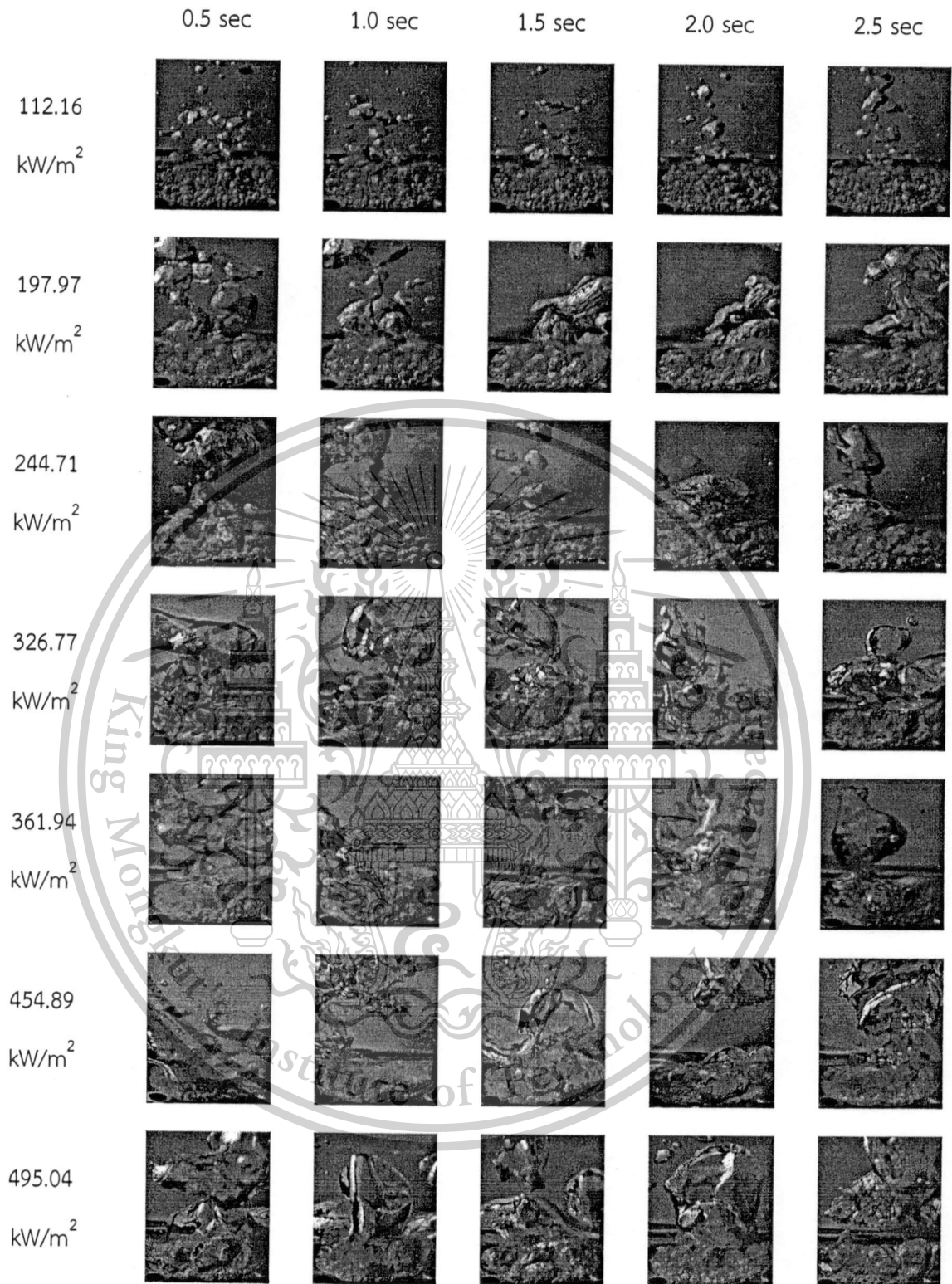


รูปที่ 5.33 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Brass ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

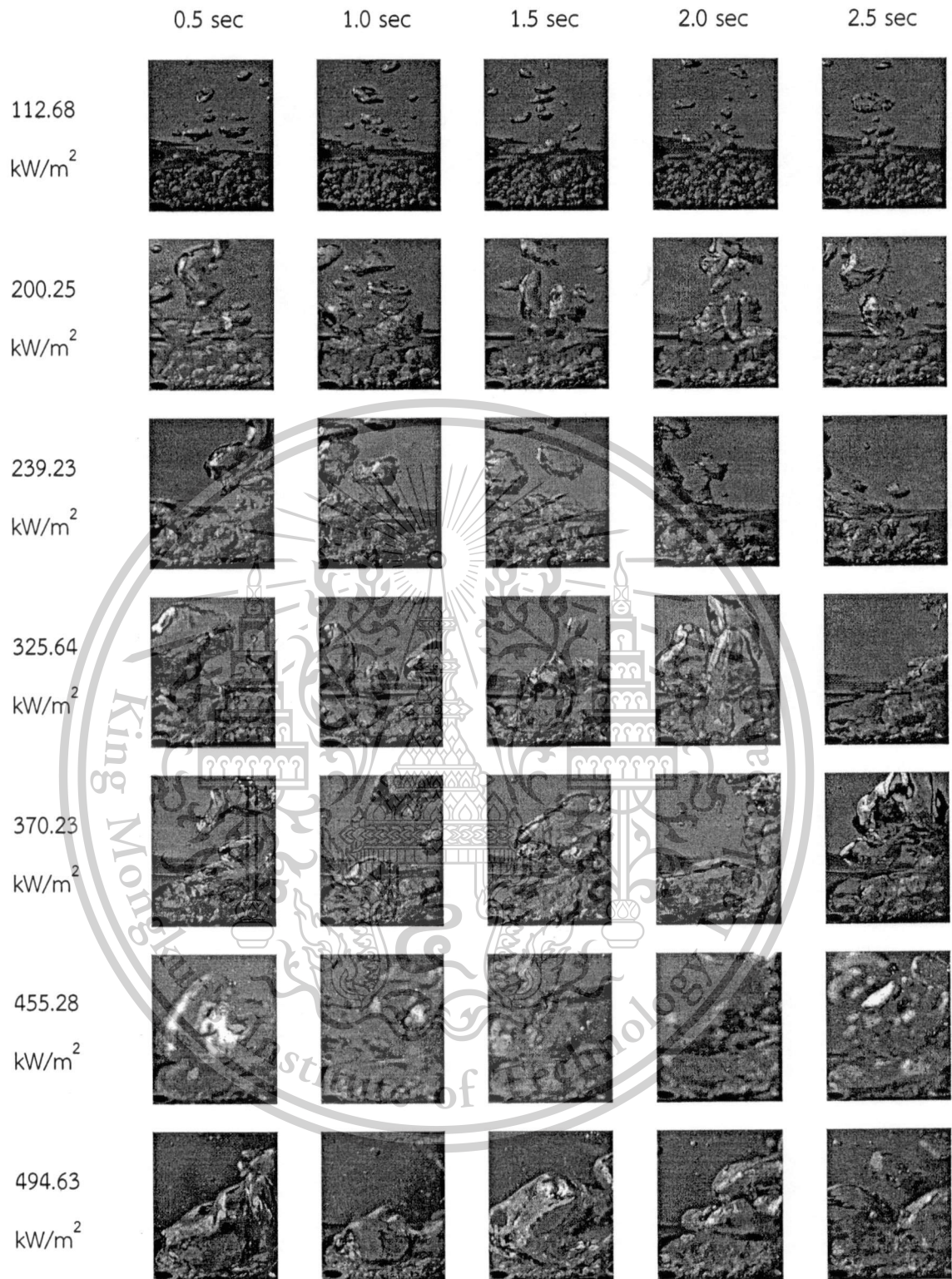


รูปที่ 5.34 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด Non fin. ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

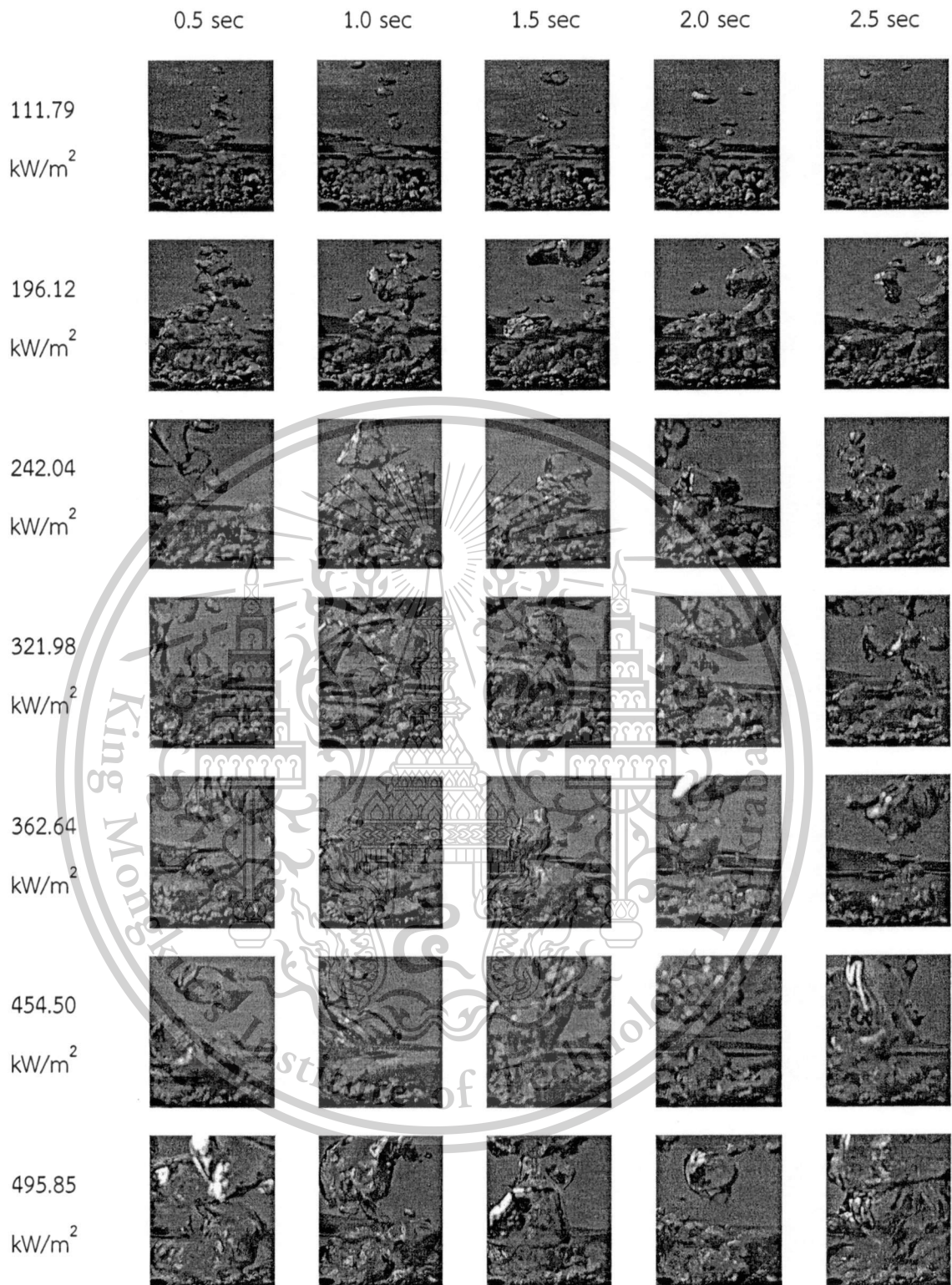


รูปที่ 5.35 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด Non fin. ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

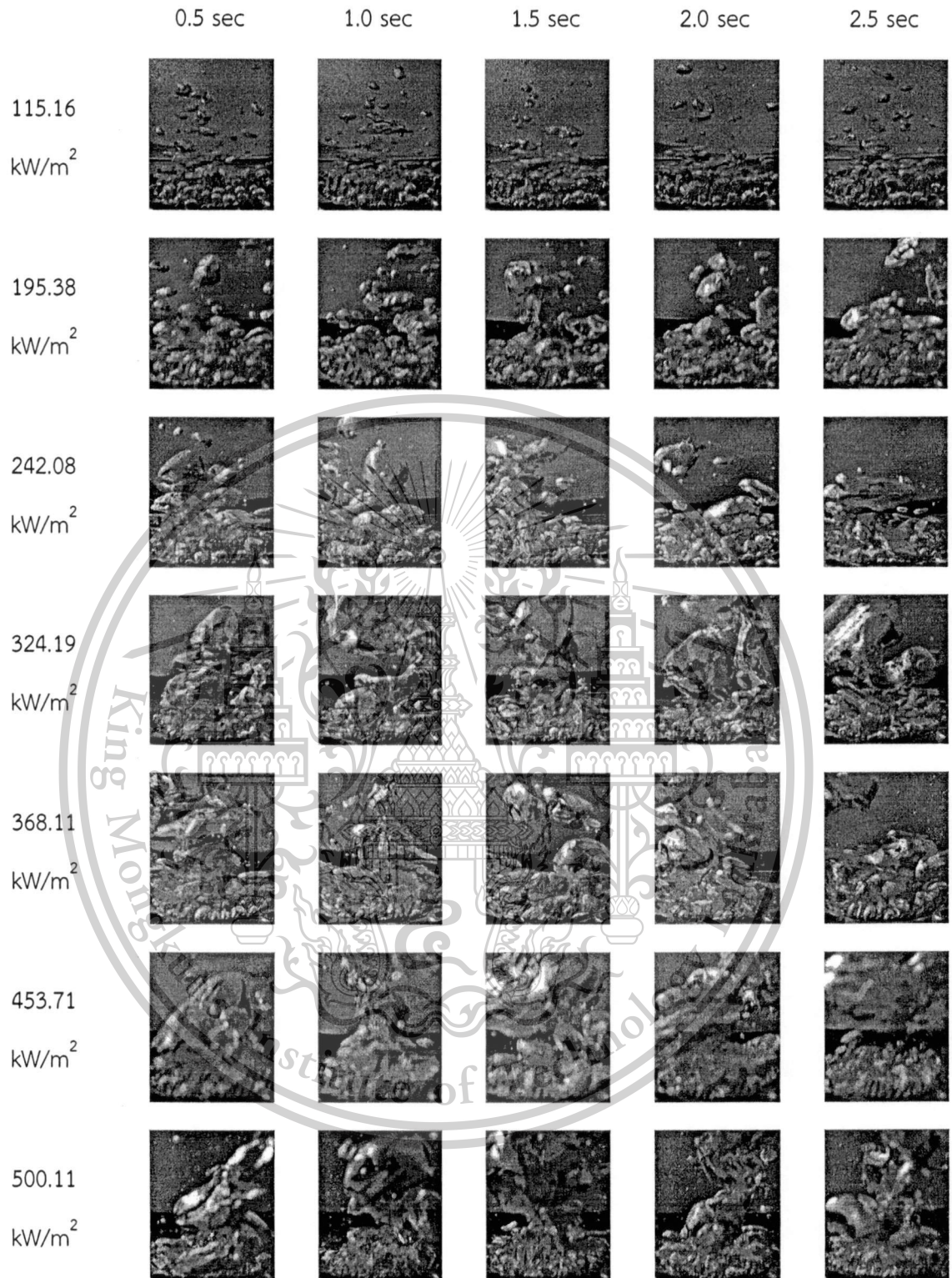


รูปที่ 5.36 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด Non fin. ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

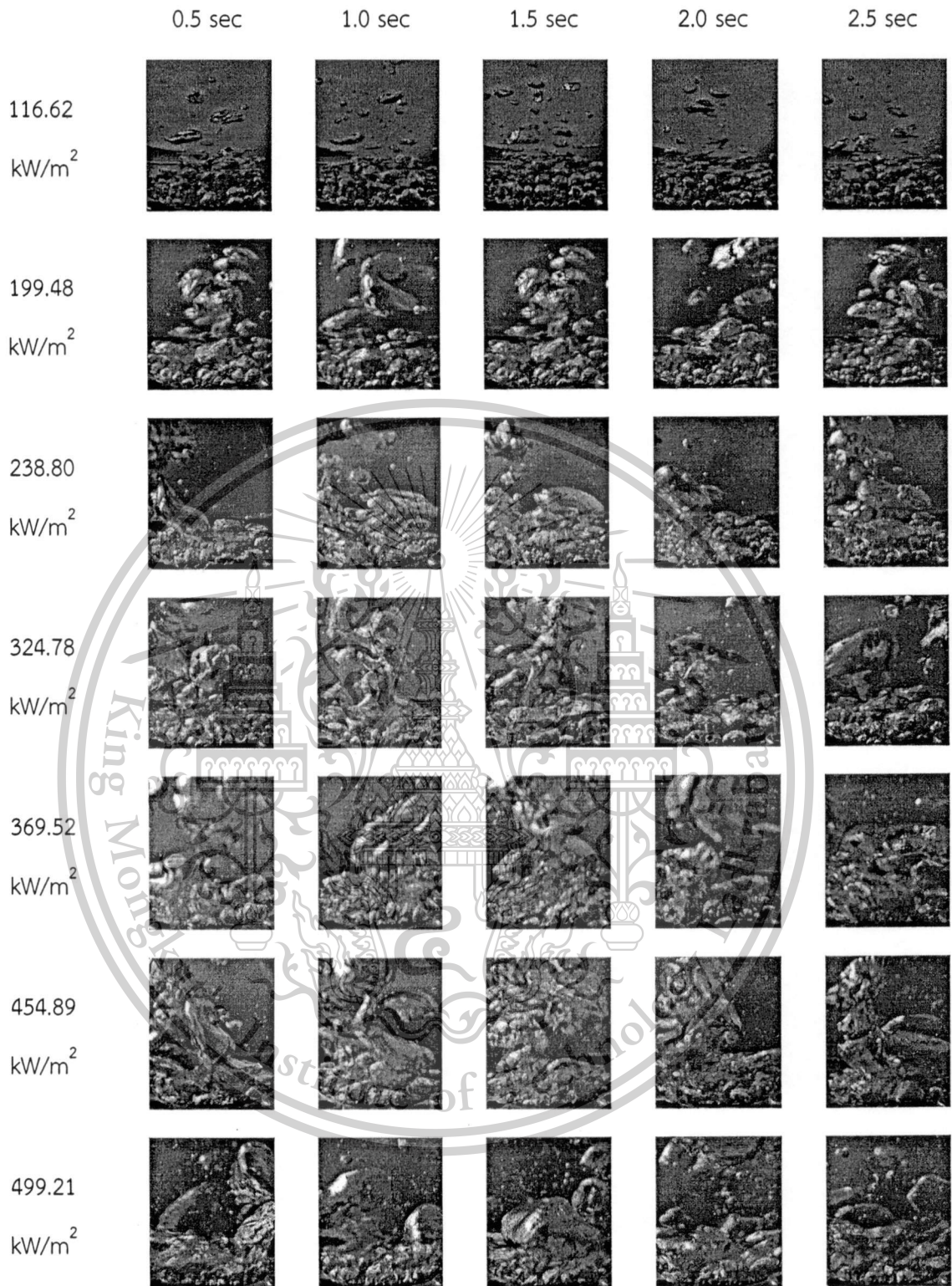


รูปที่ 5.37 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

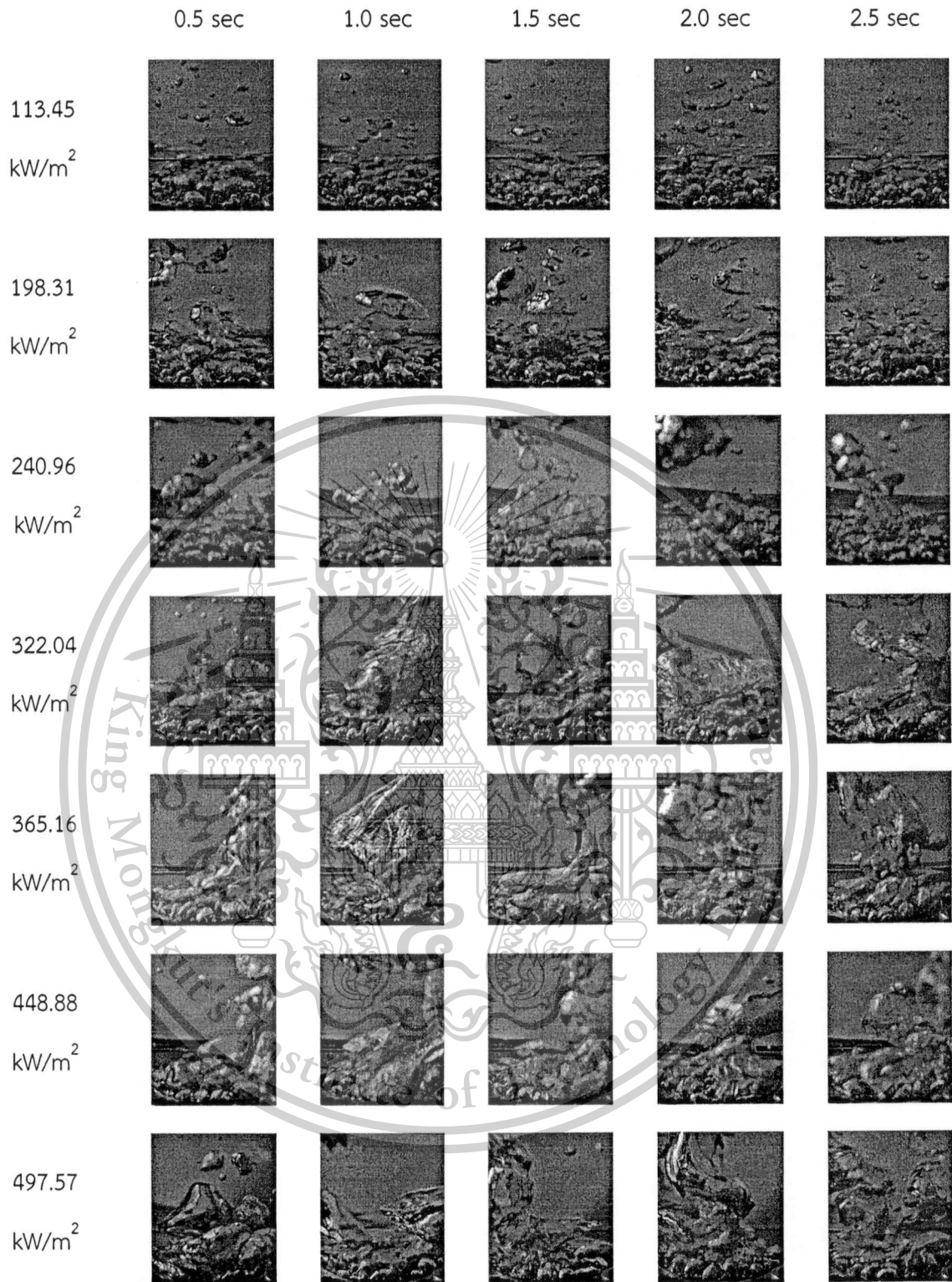


รูปที่ 5.38 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

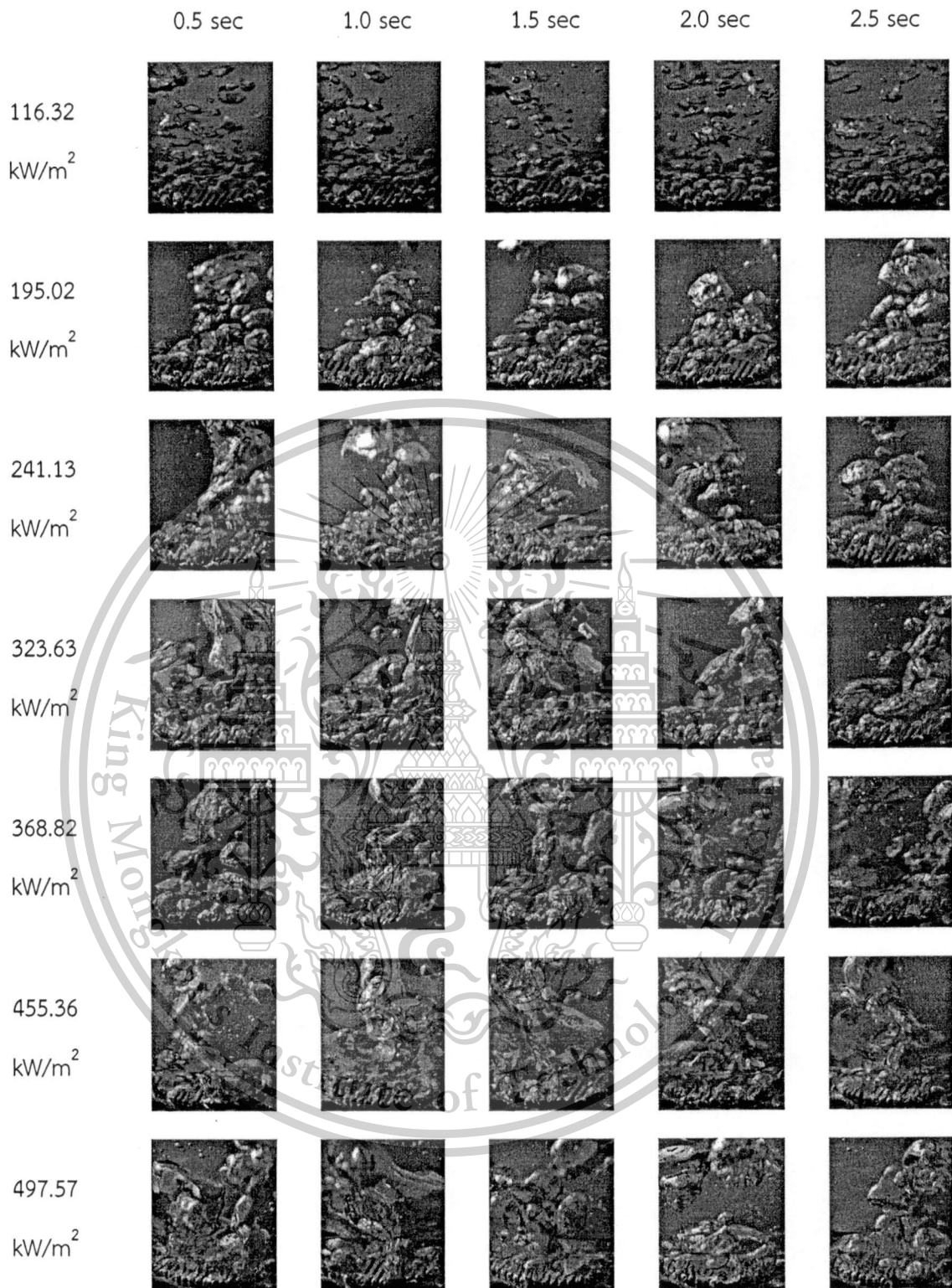


รูปที่ 5.39 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 2 mm. ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

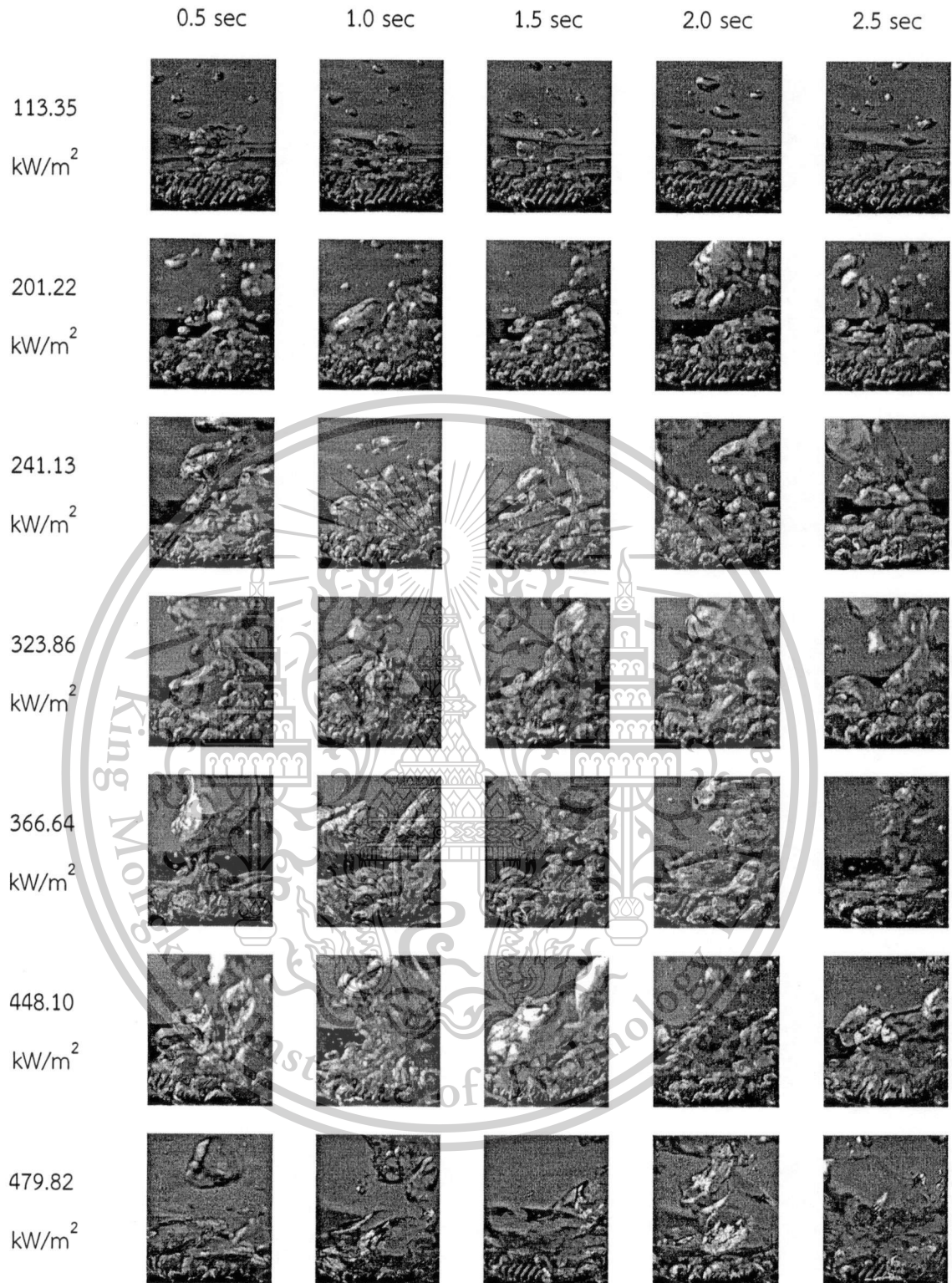


รูปที่ 5.40 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 4 mm.
ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

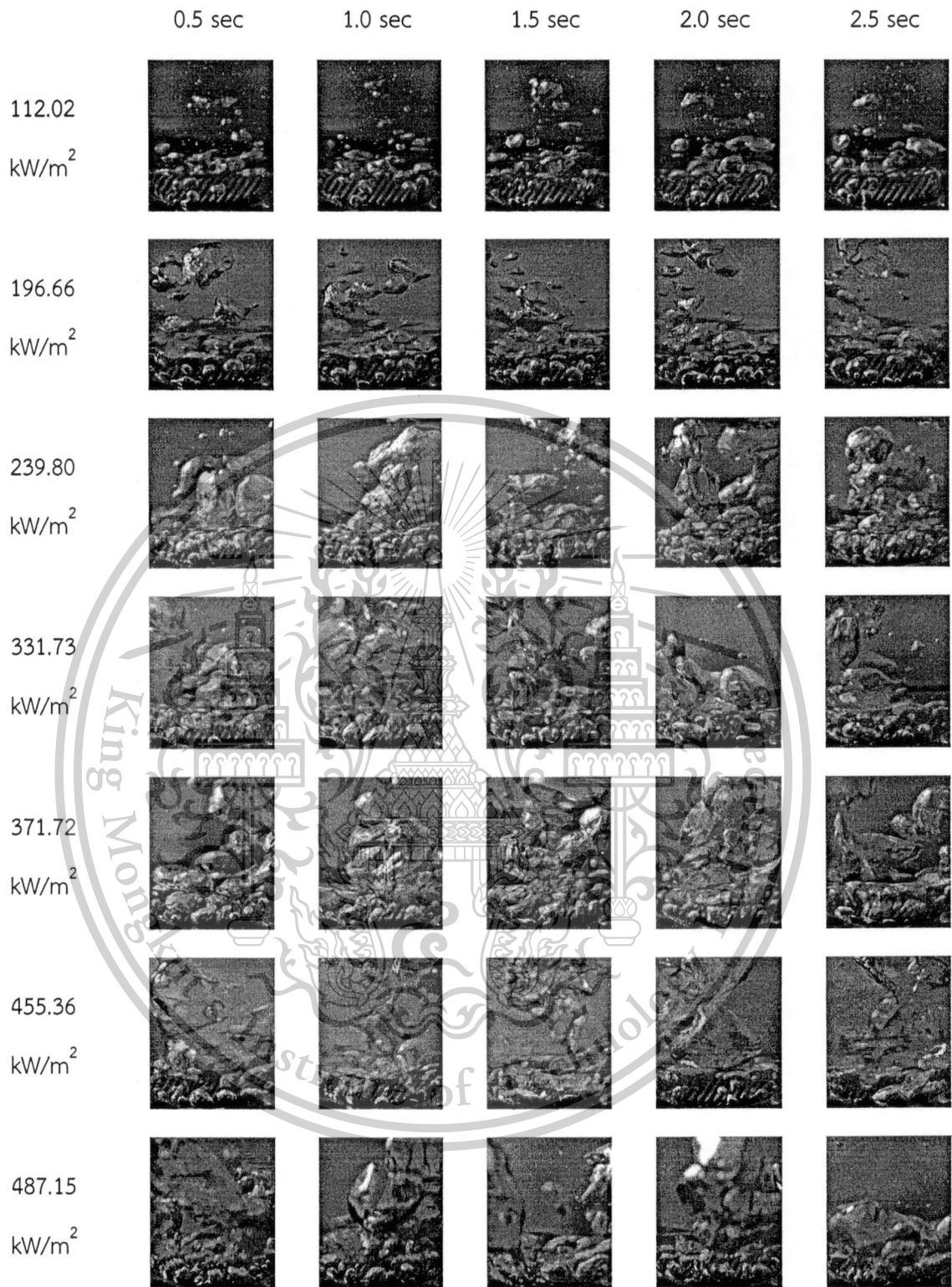


รูปที่ 5.41 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

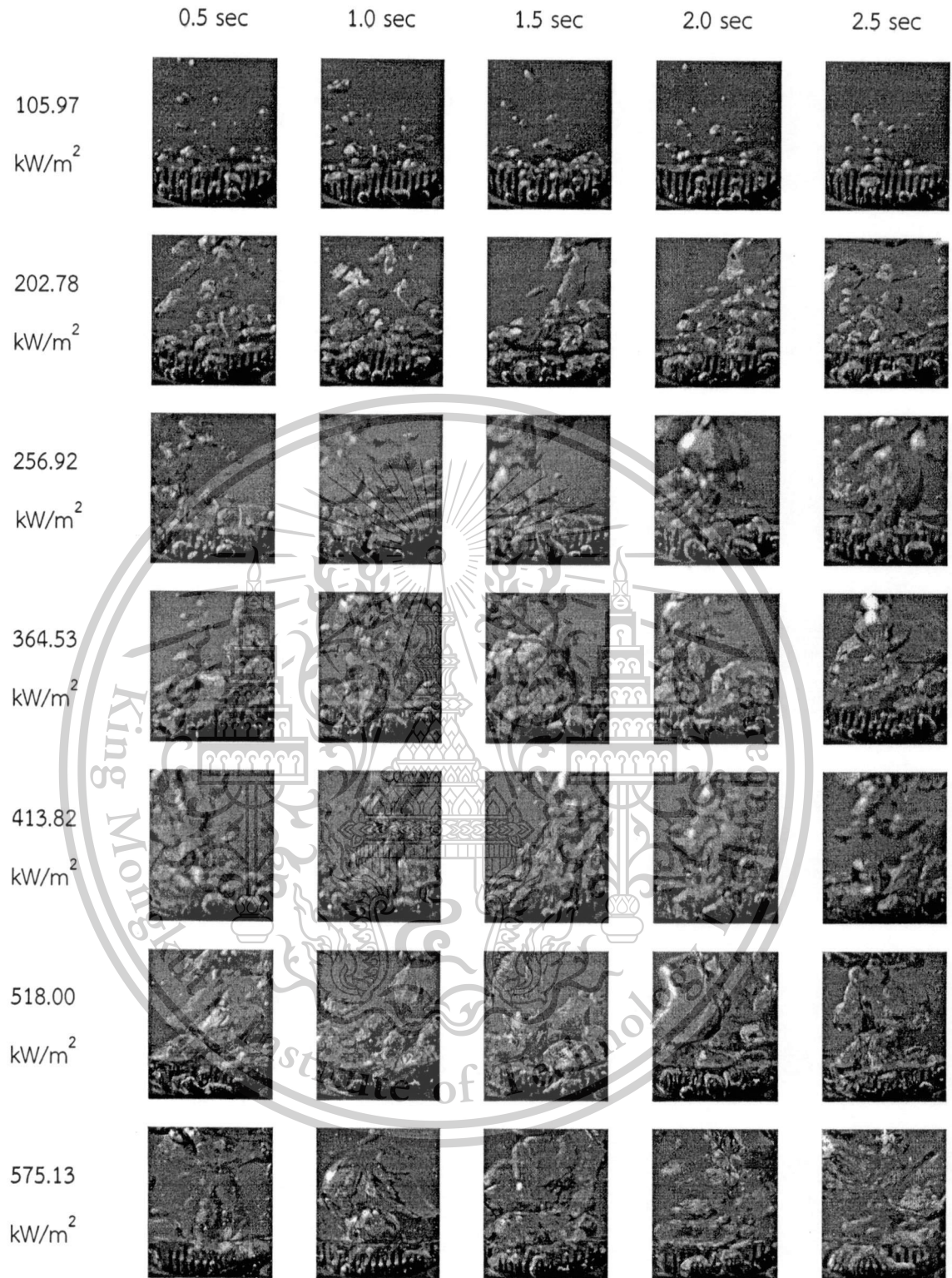


รูปที่ 5.42 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 4 mm. ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

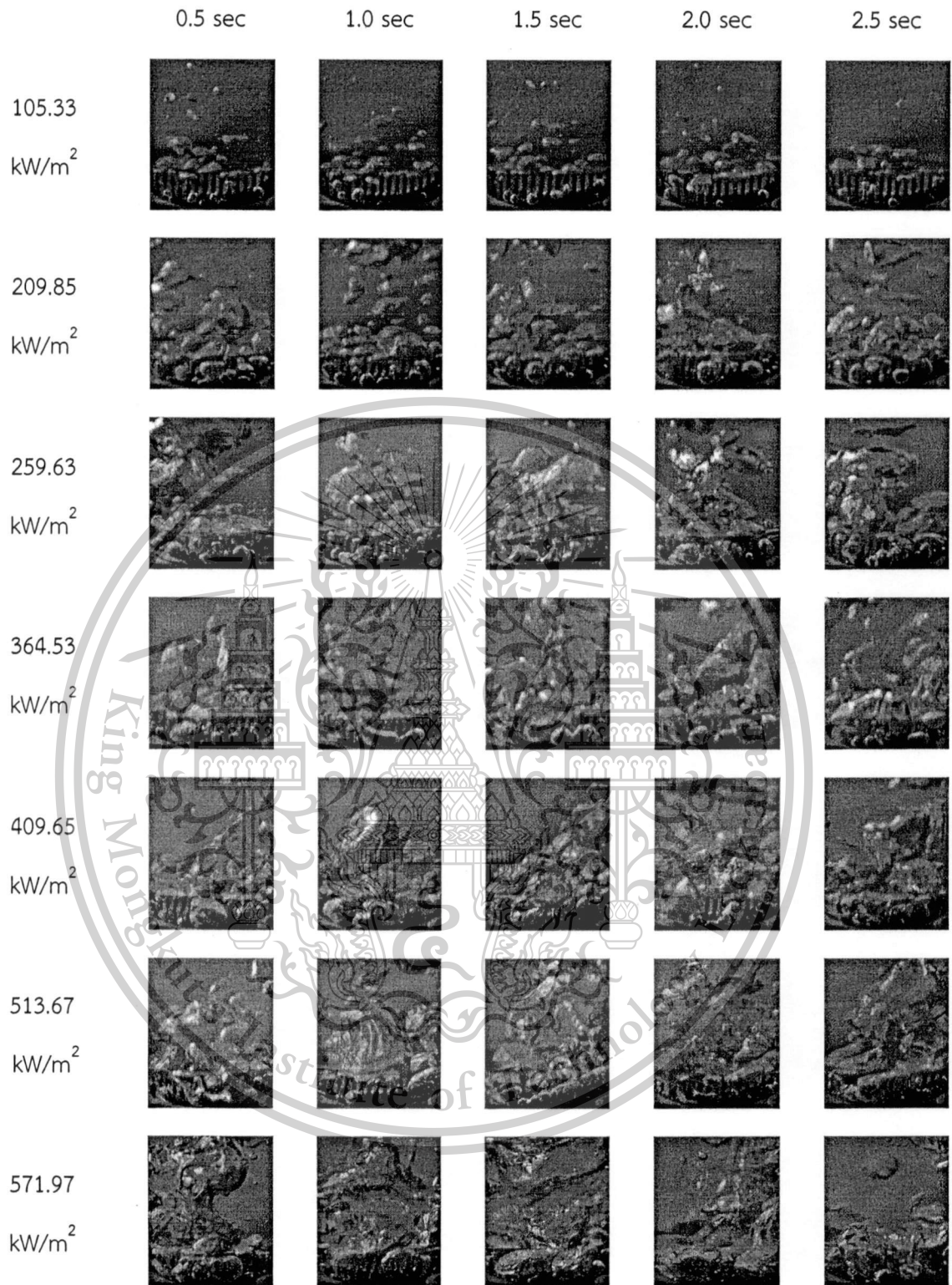


รูปที่ 5.43 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

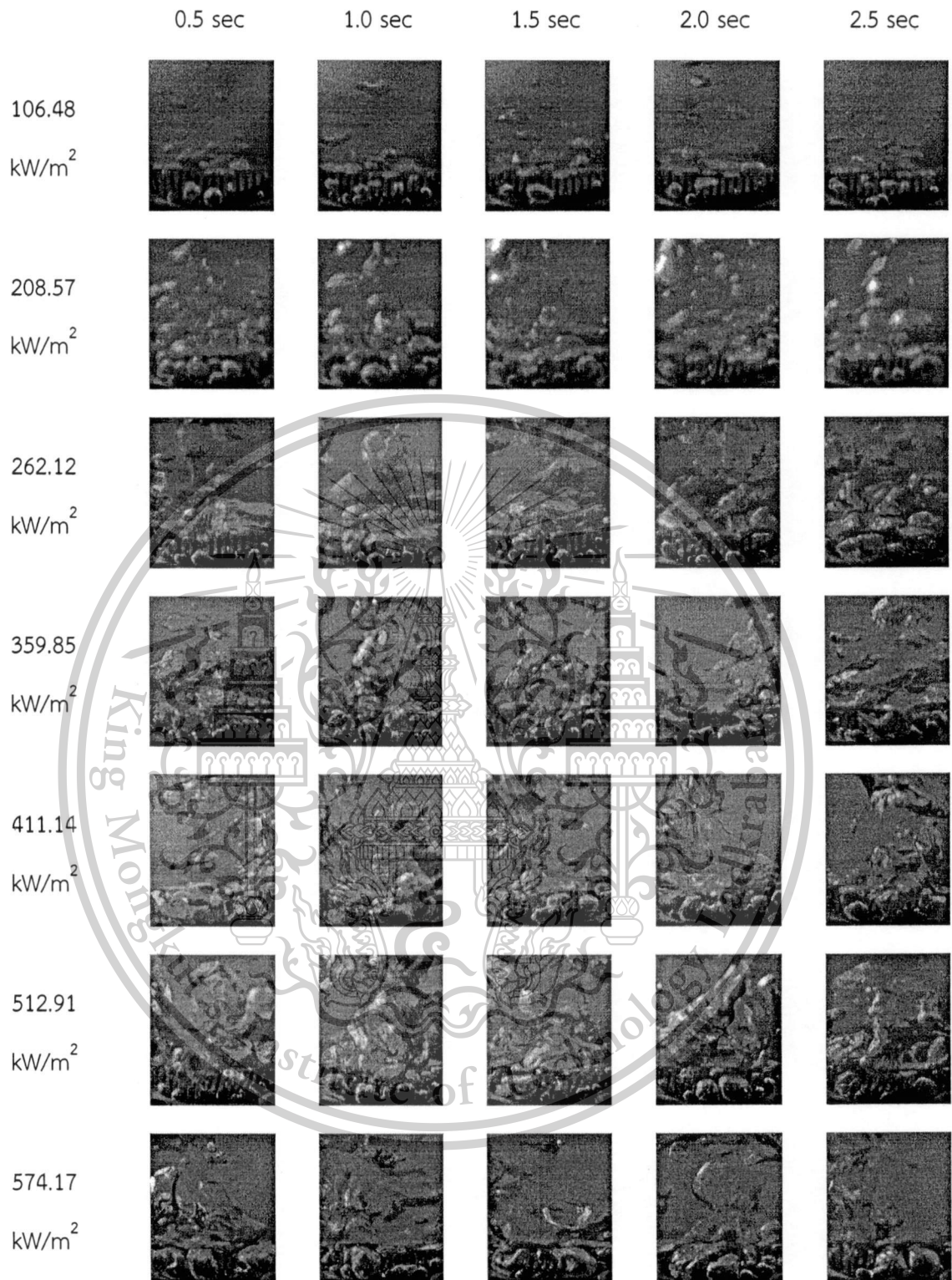


รูปที่ 5.44 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.45 แสดงปรากฏการณ์ของ pool boiling สำหรับพื้นผิวให้ความร้อน Aluminum ชนิด fin 6 mm. ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

ในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ที่ความดันบรรยากาศของน้ำกลั่น โดยที่พื้นผิวให้ความร้อนมีลักษณะเป็นแบบ micro porous - fin ที่ทำมาจากวัสดุ Copper, Brass และ Aluminum ที่มีความหนาของ fin 1 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm. และความสูงของ micro porous - fin เท่ากับ 2, 4 และ 6 mm.

เมื่อพิจารณา micro porous - fin ที่ความสูงเท่ากับ 2, 4 และ 6 mm. พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ Non fin ซึ่งในแต่ละวัสดุของ micro porous - fin จะให้ค่าการเพิ่มขึ้นของพื้นผิวให้ความร้อนทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นดังนี้

Copper micro porous - fin ที่ความสูงของ fin 2, 4 และ 6 mm. เพิ่มขึ้น เป็น 16.5%, 30% และ 38.3% ตามลำดับ

Brass micro porous - fin ที่ความสูงของ fin 2, 4 และ 6 mm. เพิ่มขึ้นเป็น 12.5%, 21.4% และ 27.4% ตามลำดับ

Aluminum micro porous - fin ที่ความสูงของ fin 2, 4 และ 6 mm. เพิ่มขึ้นเป็น 14.8%, 26.3% และ 33.6% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณา micro porous - fin ของวัสดุแต่ละชนิดที่พื้นผิวให้ความร้อน โดยการเปรียบเทียบ mini-fin ที่มีความสูงเท่ากัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ Copper สูงกว่า Brass และ Aluminum ที่ความสูงเท่ากับ 2, 4 และ 6 mm. เพิ่มขึ้นดังนี้

พิจารณาความสูงของ fin 2 mm ของพื้นผิวให้ความร้อนที่วัสดุทำจาก Copper, Brass และ Aluminum สรุปได้ดังนี้

Copper มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 32.0 %

Copper มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Aluminum เท่ากับ 11.4 %

Aluminum มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 18.4 %

พิจารณาความสูงของ fin 4 mm ของพื้นผิวให้ความร้อนที่วัสดุทำจาก Copper, Brass และ Aluminum สรุปได้ดังนี้

Copper มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 40.1 %

Copper มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Aluminum เท่ากับ 14.0 %

Aluminum มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 22.8 %

พิจารณาความสูงของ fin 6 mm. ของพื้นผิวให้ความร้อนที่วัสดุทำจาก Copper, Brass และ Aluminum สรุปได้ดังนี้

Copper มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 40.5 %

Copper มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Aluminum เท่ากับ 14.5%

Aluminum มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า Brass เท่ากับ 22.6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6.2 ข้อควรระวังในงานวิจัย

เนื่องจากการวิจัยเป็นงานทดลองเกี่ยวกับความร้อน โดยอุปกรณ์บางชิ้นต้องสัมผัสโดยตรงกับความร้อน ในการทดลองจึงควรระมัดระวัง และไม่ควรมีสัมผัสโดยตรงกับชิ้นส่วนเหล่านั้น อาจเกิดอันตรายต่อผิวหนังได้ ในระหว่างการทดลองควรควบคุมดูแลตลอดเวลาไม่ควรทดลองทิ้งไว้ เพราะเมื่อทำการทดลอง อาจเกิดช่วง film boiling ได้ จึงควรอยู่ที่เครื่องเวลาทำการทดลองเพราะสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ตามวิธีการอย่างทันทั่วถึง เพื่อป้องกันอุปกรณ์การทดลองเสียหาย และไม่ควรมั่นใจที่หอดั่วจนแน่นเกินไป และไม่ควรมาน้ำเย็นมาถูกหอดั่วแก้ว ในขณะที่หอดั่วแก้วยังร้อน เพราะอาจทำให้หอดั่วแก้วร้าวและแตกได้

6.3 ข้อเสนอแนะ.

อุปกรณ์การทดลองสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยการกลึงพื้นผิวอุปกรณ์ให้ความร้อนให้มีลักษณะเป็น fin ให้อยู่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น fin รูปวงกลม อยู่ในแนวระนาบ เป็นต้น

และเนื่องจากมีสมการหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของ mini-fin ดังสมการ (Calculate the heat transfer coefficient) ดังนี้

Heat balance:

$$\begin{aligned} q_b &= q_{uf} + q_f \\ q_b'' A_b &= q_{uf}'' A_{uf} + q_f'' A_f \eta_f \end{aligned} \quad (1)$$

Calculate the heat transfer coefficient:

$$\begin{aligned} h &= h_{uf} + h_f \\ h &= \frac{q_{uf}}{(T_b + T_{sat}) A_{uf}} + \sum_{i=1}^{i=15} h_{f,i} \\ h &= \frac{q_b'' A_b - \sum_{i=1}^{i=15} q_{f,i}'' A_{f,i} \eta_{f,i}}{(T_b + T_{sat}) A_{uf}} + \sum_{i=1}^{i=15} h_{f,i} \\ h &= \frac{VI - \sum_{i=1}^{i=15} q_{f,i}'' A_{f,i} \eta_{f,i}}{(T_b + T_{sat}) A_{uf}} + \sum_{i=1}^{i=15} h_{f,i} \end{aligned} \quad (2)$$

Calculate the perimeter heat flux ignoring the top glass plate that is assumed to be adiabatic:

$$\begin{aligned} q_{f,i}'' &= \frac{q_b'' A_b - q_{uf}'' A_{uf}}{A_{f,i} \eta_i} = \frac{q_b'' A_b - q_{uf}'' A_{uf}}{(P_i H_f + A_{c,i}) \eta_i} \\ q_{f,i}'' &= \frac{VI - q_{uf}'' A_{uf}}{(P_i H_f + A_{c,i}) \eta_i} \end{aligned} \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Calculate the heat transfer coefficient:

$$h_{f,i} = \frac{q_{f,i}''}{T_b + T_{sat}} = \frac{VI - q_{uf}'' A_{uf}}{(T_b + T_{sat})(P_i H_f + A_{c,i}) \eta_i} \quad (4)$$

Using 1-d heat conduction theory, the value of the fin efficiency is iterated until it converges to a fixed value, where

$$\eta_i = \frac{q_{f,acture,i}}{q_{f,ideal,i}} = \frac{\sqrt{h_{f,i} P_i k A_{c,i}} \left[\frac{\sinh(m_i H_f) + \left[\frac{h_{f,i}}{m_i k} \right] \cosh(m_i H_f)}{\cosh(m_i H_f) + \left[\frac{h_{f,i}}{m_i k} \right] \sinh(m_i H_f)} \right] (T_b - T_{sat})}{h_{f,i} A_{f,i} (T_b - T_{sat})}$$

$$= \frac{\sqrt{h_{f,i} P_i k A_{c,i}} \left[\frac{\sinh(m_i H_f) + \left[\frac{h_{f,i}}{m_i k} \right] \cosh(m_i H_f)}{\cosh(m_i H_f) + \left[\frac{h_{f,i}}{m_i k} \right] \sinh(m_i H_f)} \right]}{h_{f,i} A_{f,i}} ; m_i = \sqrt{\frac{h_{f,i} P_i}{k A_{c,i}}}$$

$$\eta_i = \frac{1}{A_{f,i}} \sqrt{\frac{P_i k A_{c,i}}{h_{f,i}}} \left[\frac{\sinh(m_i H_f) + \left[\frac{h_{f,i}}{m_i k} \right] \cosh(m_i H_f)}{\cosh(m_i H_f) + \left[\frac{h_{f,i}}{m_i k} \right] \sinh(m_i H_f)} \right] ; m_i = \sqrt{\frac{h_{f,i} P_i}{k A_{c,i}}}$$

(5)

Calculate the heat transfer coefficient:

$$h = h_{uf} + h_f \quad (1)$$

Form heat balance:

$$q_b = q_{uf} + q_f = h_{uf} A_{uf} (T_b + T_{sat}) + h_f A_f \eta_f (T_b + T_{sat})$$

$$q_b = h_{uf} A_{uf} (T_b + T_{sat}) + \sum_{i=1}^{i=15} h_{f,i} A_{f,i} \eta_{f,i} (T_b + T_{sat})$$

$$h_{uf} = \frac{q_b - \sum_{i=1}^{i=15} h_{f,i} A_{f,i} \eta_{f,i} (T_b + T_{sat})}{A_{uf} (T_b + T_{sat})} \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Calculate the heat transfer coefficient of fins:

$$h_f = \sum_{i=1}^{i=15} h_{f,i}$$

$$h_{f,i} = \frac{q_{f,i}}{(T_b + T_{sat})A_{f,i}\eta_{f,i}} \quad (3)$$

Using 1-d heat conduction theory, the value of the fin efficiency is iterated until it converges to a fixed value, where:

$$\eta_i = \frac{q_{f,acture,i}}{q_{f,ideal,i}} = \frac{\sqrt{h_{f,i}P_i k A_{c,i}} \left[\frac{\sinh(m_i H_f) + \left[\frac{h_{f,i}}{m_i k} \right] \cosh(m_i H_f)}{\cosh(m_i H_f) + \left[\frac{h_{f,i}}{m_i k} \right] \sinh(m_i H_f)} \right] (T_b - T_{sat})}{h_{f,i} A_{f,i} (T_b - T_{sat})}$$

$$= \frac{\sqrt{h_{f,i}P_i k A_{c,i}} \left[\frac{\sinh(m_i H_f) + \left[\frac{h_{f,i}}{m_i k} \right] \cosh(m_i H_f)}{\cosh(m_i H_f) + \left[\frac{h_{f,i}}{m_i k} \right] \sinh(m_i H_f)} \right]}{h_{f,i} A_{f,i}} ; m_i = \sqrt{\frac{h_{f,i}P_i}{k A_{c,i}}}$$

$$\eta_i = \frac{1}{A_{f,i}} \sqrt{\frac{P_i k A_{c,i}}{h_{f,i}}} \left[\frac{\sinh(m_i H_f) + \left[\frac{h_{f,i}}{m_i k} \right] \cosh(m_i H_f)}{\cosh(m_i H_f) + \left[\frac{h_{f,i}}{m_i k} \right] \sinh(m_i H_f)} \right] ; m_i = \sqrt{\frac{h_{f,i}P_i}{k A_{c,i}}} \quad (4)$$

โดย

$h_{f,i}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นที่ที่มีฟิน ($W/m^2 K$)

h_w คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นที่ที่ไม่มีฟิน ($W/m^2 K$)

η_i คือ ประสิทธิภาพ

η_f คือ ประสิทธิภาพของแต่ละฟิน

เนื่องจากหาค่าของประสิทธิภาพไม่ได้จึงขอเสนอแนะหากท่านใดสนใจจะนำสมการข้างต้นไปพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] Robert Pastuszko* Pool boiling on micro-fin array with wire mesh structures, International Journal of Thermal Sciences (2010) 25-314
- [2] JL Parker, MS El-Genk, Enhanced saturation and subcooled boiling of FC-72 dielectric liquid, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2005, Pages 3736–3752
- [3] Yongping Yang, Xianbing Ji, Jinliang Xu, “Pool boiling heat transfer on copper foam covers with water as working fluid”, International Journal of Thermal Sciences 49 (2010) 1227e1237.
- [4] I. Pranoto K.C. Leong L.W. Jin The role of graphite foam pore structure on saturated pool boiling enhancement ,Applied Thermal Engineering (2011)
- [5] Nae-Hyun Kim , Do-Young Kim, 2010, “Pool boiling of R-123/oil mixtures on enhanced tubes having different pore sizes”, International Journal of Heat and Mass Transfer 53 (2010) 2311–2317
- [6] Chien-Yuh Yang ,Chien-Fu Liu Effect of coating layer thickness for boiling heat transfer on micro porous coated surface in confined and unconfined spaces , Experimental Thermal and Fluid Science (2013)
- [7] Z.G. Xu, Z.G. Qu , C.Y. Zhao, W.Q. Tao,2011, “Pool boiling heat transfer on open-celled metallic foam saturation condition”, International Journal of Heat and Mass Transfer 54 (2011) 3856–3867.
- [8] Peter Hubner and Wolfgang Kunstler, Pool boiling heat transfer at finned tubes : influence of surface roughness and shape of the fins. 8- 575-582 [2010]
- [9] S.J. Kima, I.C.Banga, J. Buongiorno, International Journal of Heat and Mass Transfer (2007) 4105–4116
- [10] Collier, J.G., Thome, J.R., 1994, “Convective boiling and condensation”, Oxford university press, Inc, pp. 131-168.
- [11] Incropra, 2007,“Introduction to Heat Transfer Sixth Edition”, John Wiley & Sons, Inc, pp.622-630.
- [12] S.J. Kim, I.C. Bang, J. Buongiorno, Surface wettability change during pool boiling of nanofluids and its effect on critical heat flux, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2007, Pages 4105–4116
- [13] www.enggyd.blogspot.com/2009/08/heat-transfer-in-boiling.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [14] www.heat.uta.edu.com
- [15]. Sarit K. Das ^a, Nandy Putra b, Wilfried Roetzel b,* 2002, "Pool boiling characteristics of nano-fluids", International Journal of Heat and Mass Transfer 46 (2003) 851-862
- [16]. Peter Vassallo ^{a,*}, Ranganathan Kumar b, Stephen D'Amico ^a 2003, "Pool boiling heat transfer experiments in silica-water nano-fluids", International Journal of Heat and Mass Transfer 47 (2004) 407-411
- [17]. In Cheol Bang *, Soon Heung Chang, 2005, "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 48 (2005) 2407-2419
- [18]. Zhen-hua Liu *, Liang Liao, 2008, "Sorption and agglutination phenomenon of nanofluids on a plain heating surface during pool boiling", International Journal of Heat and Mass Transfer 51 (2008) 2593-2602
- [19]. Visinee Trisaksri, Somchai Wongwises, 2009, "Nucleate pool-boiling heat transfer of TiO₂-R141b nanofluids", International Journal of Heat and Mass Transfer 52 (2009) 1582-1588
- [20] Robert Pastuszko* Pool boiling on micro-fin array with wire mesh structures, International Journal of Thermal Sciences (2010) 25-314

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.1 ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำ [8]

Temp., T, °C	Saturation Pressure, P _{sat} , kPa	Density, ρ, kg/m ³		Enthalpy of Vaporization, h _{fg} , kJ/kg		Specific Heat, C _p , J/kg·°C		Thermal Conductivity, k, W/m·°C		Dynamic Viscosity, μ, kg/m·s		Prandtl Number, Pr		Volume Expansion Coefficient, β, 1/K
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³	
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³	
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³	
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4186	1863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³	
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³	
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³	
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³	
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³	
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³	
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³	
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³	
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³	
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³	
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³	
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³	
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³	
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.633 × 10 ⁻³	
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.657 × 10 ⁻³	
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.670 × 10 ⁻³	
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.671 × 10 ⁻³	
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.650 × 10 ⁻³	
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³	
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³	
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³	
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³	
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³	
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³	
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³	
180	1002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³	
190	1254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³	
200	1553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³	
220	2318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³	
240	3344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0497	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³	
260	4688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³	
280	6412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³	
300	8581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³	
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	3.700 × 10 ⁻³	
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	4.600 × 10 ⁻³	
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.671 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	6.100 × 10 ⁻³	
374.14	22,090	317.0	317.0	0	∞	∞	∞	∞	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	∞	∞	∞	

Note 1: Kinematic viscosity ν and thermal diffusivity α can be calculated from their definitions, $\nu = \mu/\rho$ and $\alpha = k/\rho C_p = \nu/Pr$. The temperatures 0.01°C, 100°C, and 374.14°C are the triple-, boiling-, and critical-point temperatures of water, respectively. The properties listed above (except the vapor density) can be used at any pressure with negligible error except at temperatures near the critical-point value.

Note 2: The unit kJ/kg·°C for specific heat is equivalent to kJ/kg·K, and the unit W/m·°C for thermal conductivity is equivalent to W/m·K.

Source: Viscosity and thermal conductivity data are from J. V. Sengers and J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291–1322. Other data are obtained from various sources or calculated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าคงที่ของ Rohsnow's correlation (1952)

Fluids – Heat Surface Combination	C_{st}	n
Water – copper (polished)	0.0130	1.0
Water – copper (scored)	0.0068	1.0
Water – Stainless steel (mechanically polished)	0.0130	1.0
Water – Stainless steel (ground and polished)	0.0060	1.0
Water – Stainless steel (Teflon pitted)	0.0058	1.0
Water – Stainless steel (Chemically etched)	0.0130	1.0
Water - brass	0.0060	1.0
Water - nickel	0.0060	1.0
Water – platinum	0.0130	1.0
n – Pentane – copper (polished)	0.0154	1.7
n – Pentane – chromium	0.0150	1.7
Benzene – chromium	0.1010	1.7
Ethyl – alcohol – chromium	0.0027	1.7
Carbon – tetrachloride - copper	0.0130	1.7
Isopropanol - copper	0.0025	1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

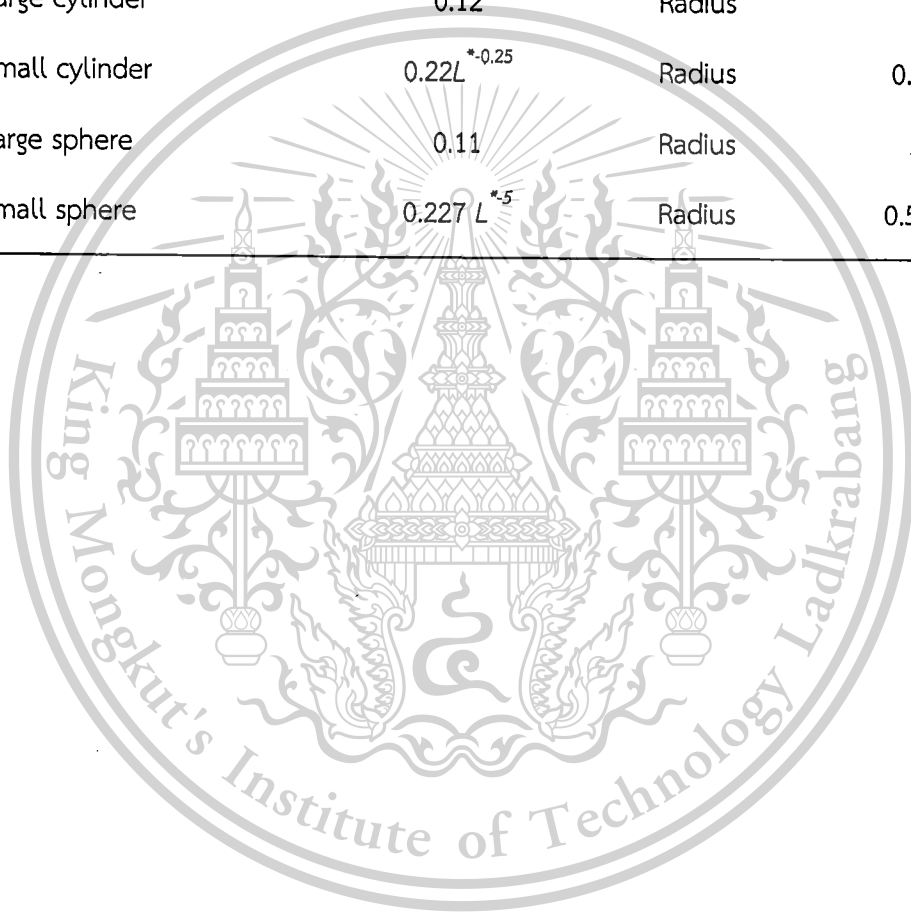
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.3 แสดงค่าคงที่ของ Zuber (1958)

$$L^* = L \left(\frac{g(\rho_1 - \rho_2)}{\sigma} \right)^{0.5} \quad \text{และ} \quad K_1 = \frac{\sigma}{gA(\rho_1 - \rho_g)}$$

Heater Geometry	C_{ct}	Charac. Dimension of Heater, L	Rang of L^*
Large horizontal flat heater ¹	0.149	Width or diameter	$L^* > 27$
Small horizontal flat heater ¹	$18.9K_1$	Width or diameter	$9 < L^* < 20$
Large cylinder	0.12	Radius	$L^* > 1.2$
Small cylinder	$0.22L^{*-0.25}$	Radius	$0.5 < L^* < 1.2$
Large sphere	0.11	Radius	$L^* > 4.26$
Small sphere	$0.227L^{*-5}$	Radius	$0.5 < L^* < 4.26$

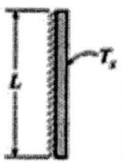
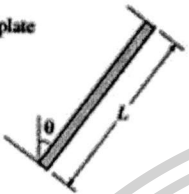

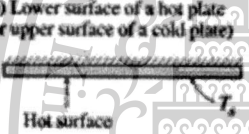





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.4 แสดง Empirical correlations สำหรับ Average Nusselt number
ของการพาความร้อนแบบธรรมชาติ [8]

Geometry	Characteristic length L_c	Range of Ra	Nu
Vertical plate 	L	10^4-10^9 10^9-10^{13} Entire range	$Nu = 0.59Ra^{1/4}$ (9-19) $Nu = 0.1Ra^{1/3}$ (9-20) $Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right\}^2$ (9-21) (complex but more accurate)
Inclined plate 	L		Use vertical plate equations for the upper surface of a cold plate and the lower surface of a hot plate Replace g by $g \cos\theta$ for $Ra < 10^9$
Horizontal plate (Surface area A and perimeter p) (a) Upper surface of a hot plate (or lower surface of a cold plate)  (b) Lower surface of a hot plate (or upper surface of a cold plate) 	A_c/p	10^4-10^7 10^7-10^{11} 10^8-10^{11}	$Nu = 0.54Ra^{1/4}$ (9-22) $Nu = 0.15Ra^{1/3}$ (9-23) $Nu = 0.27Ra^{1/4}$ (9-24)
Vertical cylinder 	L		A vertical cylinder can be treated as a vertical plate when $D \geq \frac{35L}{Gr^{1/4}}$
Horizontal cylinder 	D	$Ra_D \approx 10^{12}$	$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.559/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right\}^2$ (9-25)
Sphere 	D	$Ra_D \approx 10^{11}$ $(Pr \approx 0.7)$	$Nu = 2 + \frac{0.589Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.469/Pr)^{1/4}]^{1/4}}$ (9-26)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



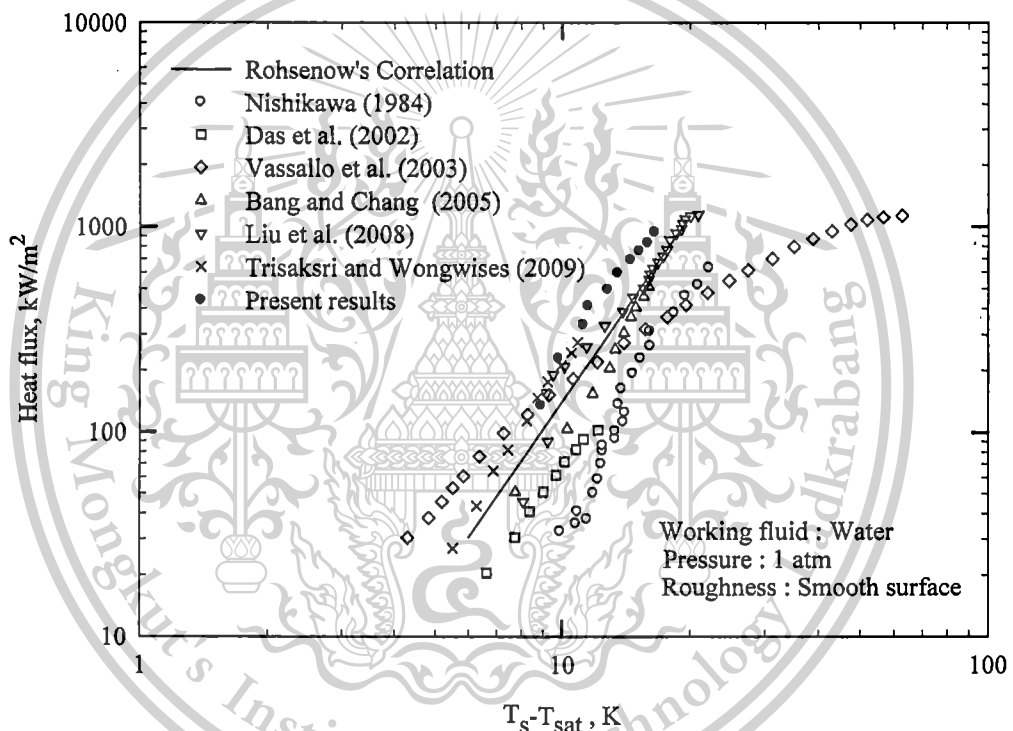
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการทดลอง pin fin

คุณลักษณะของ nucleate pool boiling heat transfer ที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้ น้ำ กลั่นเป็น working fluids ในการทดลองนี้ได้ติดตั้ง Copper pin fin , Brass pin fin และ Aluminum pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อน เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณพื้นผิว ให้ความร้อนทำจาก ทองแดง, ทองเหลือง และ อะลูมิเนียม มีลักษณะเป็นพื้นผิวเรียบวงกลมในแนวราบ ในการทดลองจะบ่ง บอกรถึงคุณลักษณะของ nucleate pool boiling heat transfer ที่ความดันบรรยากาศโดยที่ รูปที่ ข.1 เป็นกราฟ pool boiling curve ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_s - T_{sat}$ กับ heat flux และแสดง ปรัชการณของ nucleate pool boiling heat transfer ในช่วงของ high heat flux พื้นผิวให้ความร้อนทำมาจากทองแดง,ทองเหลือง และ อะลูมิเนียม วงกลม วางในแนวราบมีค่าความขรุขระ $0.2 \mu\text{m}$.



ภาพที่ ข.1 การเปรียบเทียบค่า heat flux ที่ได้จากการทดลองสหพันธ์ของ Rohsenow's และการทดลองของนักวิจัยท่านอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลของความสูงของ Copper pin fin , Brass pin fin และ Aluminum pin fins)

ผลการทดลองของความสูง Copper pin fin , Brass pin fin และ Aluminum pin fin ที่มีผลต่อคุณลักษณะ pool boiling curve และ heat transfer coefficient ซึ่งทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศ ข้อมูลของ Copper pin fin , Brass pin fin และ Aluminum pin fin มีดังนี้ ความหนาของ fin 1 mm. ความหนาของแผ่น fin 2 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. นอกจากนี้ในการทดลองได้ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดความสูงของ Copper pin fin , Brass pin fin และ Aluminum pin fin มีความสูง 2 , 4 , 6 mm. ผลการทดลองแสดงในรูปที่ ข.2 ถึง ข.8 มีรายละเอียดดังนี้

คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวเรียบของทองแดง, ทองเหลือง และ อะลูมิเนียม ที่ทำการติดตั้ง Copper pin fin , Brass pin fin และ Aluminum pin fin บนพื้นผิว ให้ความร้อน ดังแสดงในรูปที่ ข.2 ถึง ข.8 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ nucleate pool boiling ของน้ำกลั่นที่ติดตั้ง Copper pin fin , Brass pin fin และ Aluminum pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อนขนาดความสูง 2, 4, 6 mm. ตามลำดับ

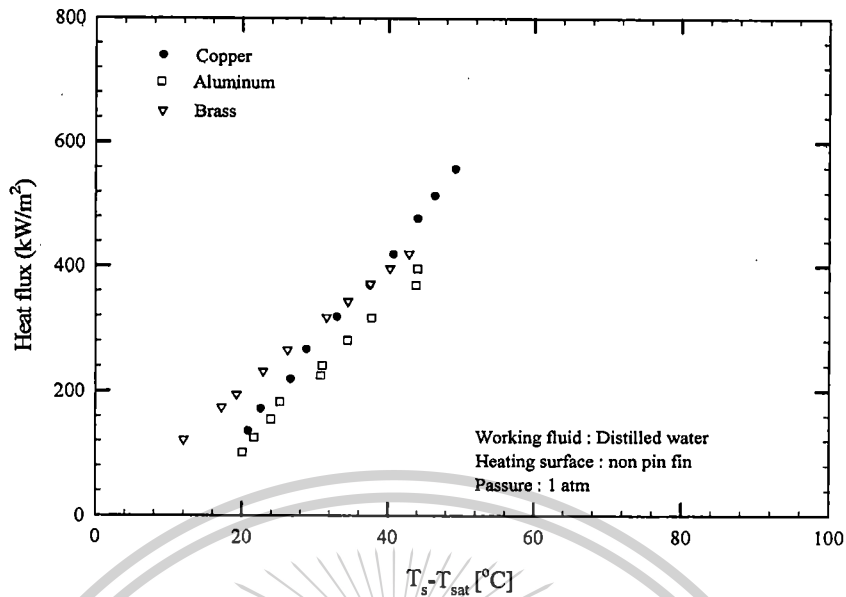
ภาพที่ ข.2 (ก), ข.3 (ก), ข.4 (ก) และ ข.5 (ก) เป็นกราฟ boiling curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $T_s - T_{sat}$ กับค่า heat flux จากกราฟผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าข้อมูลการทดลองอยู่ในช่วง $T_s - T_{sat}$ ประมาณ 26 - 65 °C จากกราฟที่ $T_s - T_{sat}$ ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่า heat flux เพิ่มขึ้นด้วยใน ทุกการทดลอง

ภาพที่ ข.2(ข), ข.3(ข), ข.4(ข) และ ข.5(ข) เป็นกราฟ Pool boiling heat transfer coefficient ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง heat flux กับค่า heat transfer coefficient จากกราฟ ผลการทดลองพบว่าเมื่อเทียบที่ค่า heat flux เดียวกัน ค่า Copper pin fin, Brass pin fin และ Aluminum pin fin มากกว่า Non pin fin ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าเมื่อติด Copper pin fin, Brass pin fin และ Aluminum pin fin จะทำให้ไปถ่ายเทความร้อนที่พื้นผิว ส่งผลให้ความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวให้ความร้อนเพิ่มขึ้น นั่นหมายความว่า การติดตั้งอุปกรณ์ Copper pin fin, Brass pin fin และ Aluminum pin fins บนพื้นผิวให้ความร้อนมีผลทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น

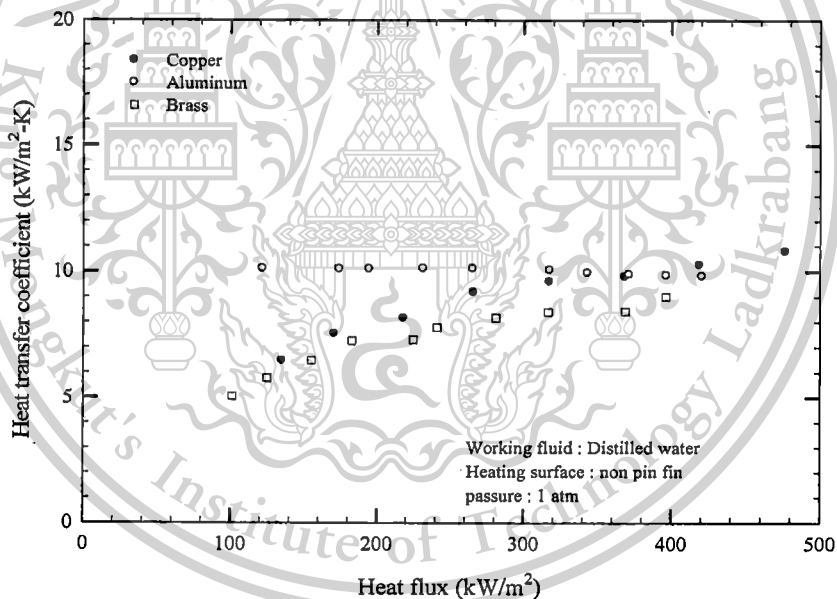
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก) Pool boiling curve



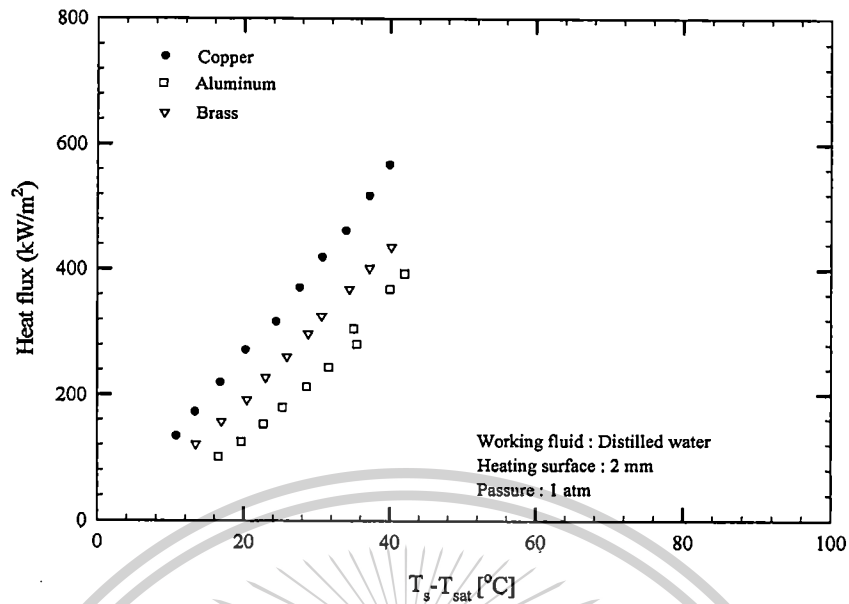
(ข) Pool boiling heat transfer coefficient

ภาพที่ ข.2 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำ โดยติดตั้ง Copper pin fin, Brass pin fin และ Aluminum pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ผิวเรียบ

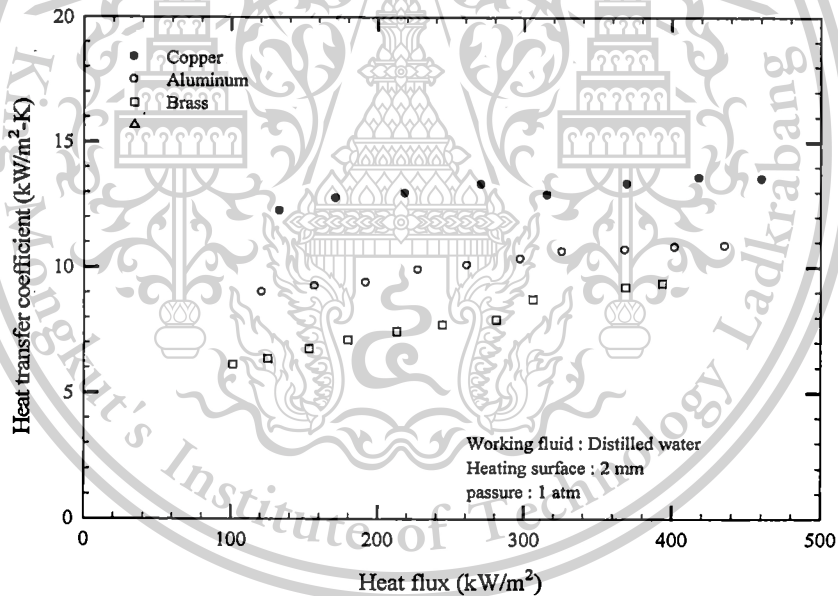
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก) Pool boiling curve



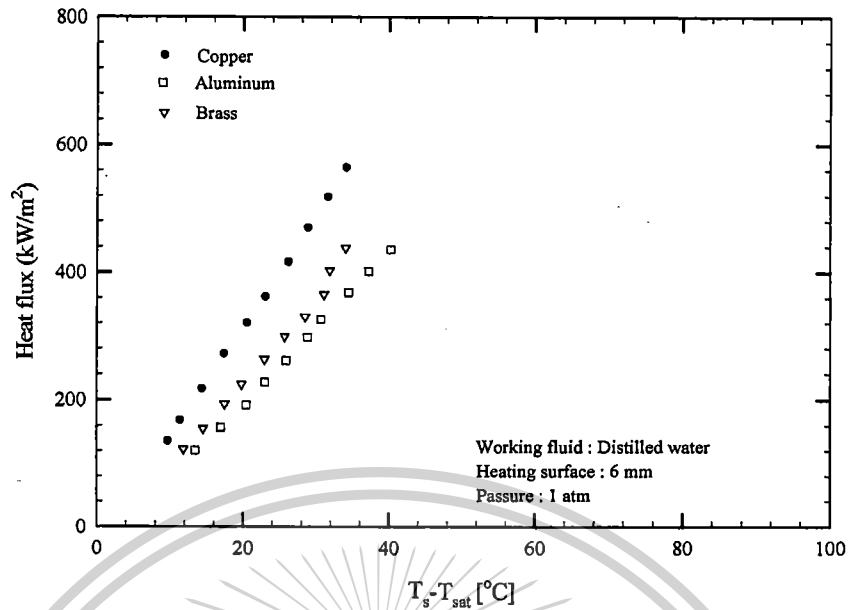
(ข) Pool boiling heat transfer coefficient

ภาพที่ ข.3 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำ โดยติดตั้ง Copper pin fin, Brass pin fin และ Aluminum pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ความสูง 2 mm.

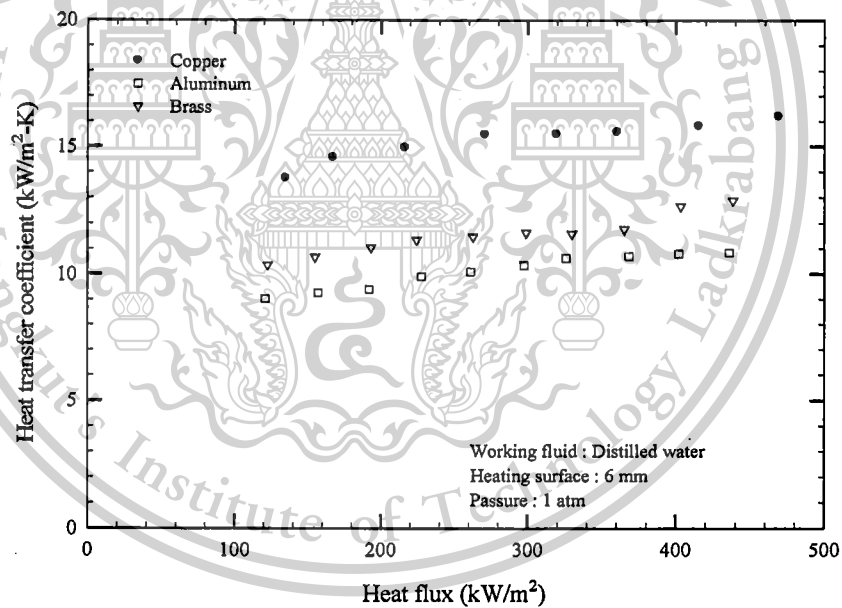
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก) Pool boiling curve



(ข) Pool boiling heat transfer coefficient

ภาพที่ ข.5 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำ

โดยติดตั้ง Copper pin fin, Brass pin fin และ Aluminum pin fin

บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ความสูง 6 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลของพื้นผิวให้ความร้อน Copper, Brass และ Aluminum

ผลของพื้นผิวให้ความร้อนของ Pin Fin ที่มีผลต่อคุณลักษณะ pool boiling curve และ heat transfer coefficient ซึ่งทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศ ข้อมูลของ Pin Fin มีดังนี้ ความหนาของ fin 1 mm. ความหนาของแผ่น fin 2 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. นอกจากนี้ ในการทดลองได้ทำการเปลี่ยนแปลง พื้นผิวให้ความร้อนเป็น Copper, Brass และ Aluminum ผลของการทดลองแสดงในภาพที่ 5.6 ถึง 5.8 มีรายละเอียดดังนี้

พิจารณาคูณลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวให้ความร้อนที่ทำการแปลงเปลี่ยนจำนวนความสูงของ Pin Fin 2, 4 และ 6 mm. ดังแสดงในภาพที่ 5.2 ถึง 5.5 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ nucleate pool boiling ของน้ำกลั่นที่ติดตั้ง Pin Fin บนพื้นผิวให้ความร้อน Copper, Brass และ Aluminum ตามลำดับ

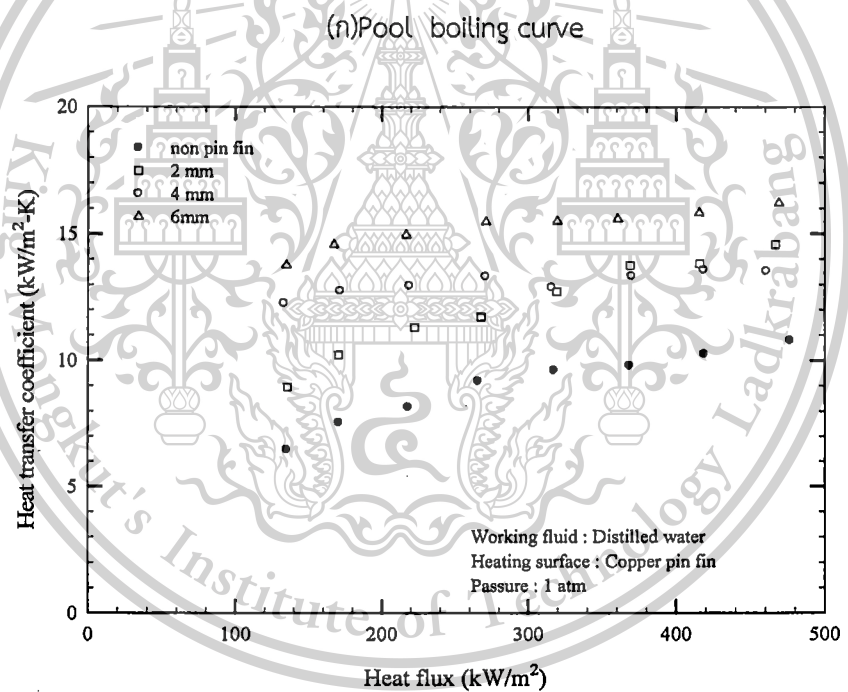
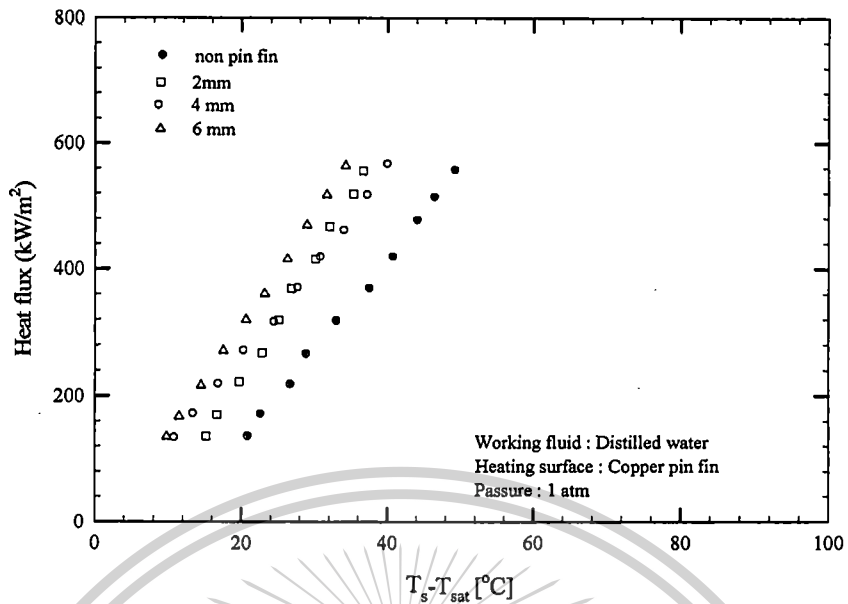
ภาพที่ ข.6(ก) ข.7(ก) และ ข.8(ก) เป็นกราฟ boiling curve ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_s - T_{sat}$ กับค่า heat flux จากกราฟผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลการทดลองอยู่ในช่วง $T_s - T_{sat}$ ที่ประมาณ 6 -17 K จากกราฟเมื่อ $T_s - T_{sat}$ เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลทำให้ค่าของ heat flux เพิ่มขึ้นด้วยในทุก ๆ การทดลอง นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวให้ความร้อนเป็น Copper, Brass และ Aluminum ที่พื้นผิวให้ความร้อน Copper จะให้ค่า heat transfer coefficient สูงกว่า Brass และ Aluminum ตามลำดับ

ภาพที่ ข.6(ข) ข.7(ข) และ ข.8(ข) แสดงกราฟ pool boiling heat transfer coefficient ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง heat flux กับค่า heat transfer coefficient จากกราฟผลการทดลองพบว่า เมื่อเทียบที่ค่า heat flux เดียวกัน ค่า heat transfer coefficient ของ Pin Fin ที่ความสูง 2, 4 และ 6 mm. เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ non Pin Fin ที่ความสูง 2 mm. ของพื้นผิวให้ความร้อน Copper, Brass และ Aluminum เพิ่มขึ้น 6% 24% และ 45% ตามลำดับ ที่ความสูง 4 mm. ของพื้นผิวให้ความร้อนเป็น Copper, Brass และ Aluminum เพิ่มขึ้น 6% 24% และ 45% ตามลำดับ ที่ความสูง 6 mm. ของพื้นผิวให้ความร้อน Copper, Brass และ Aluminum เพิ่มขึ้น 6%, 24% และ 45% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

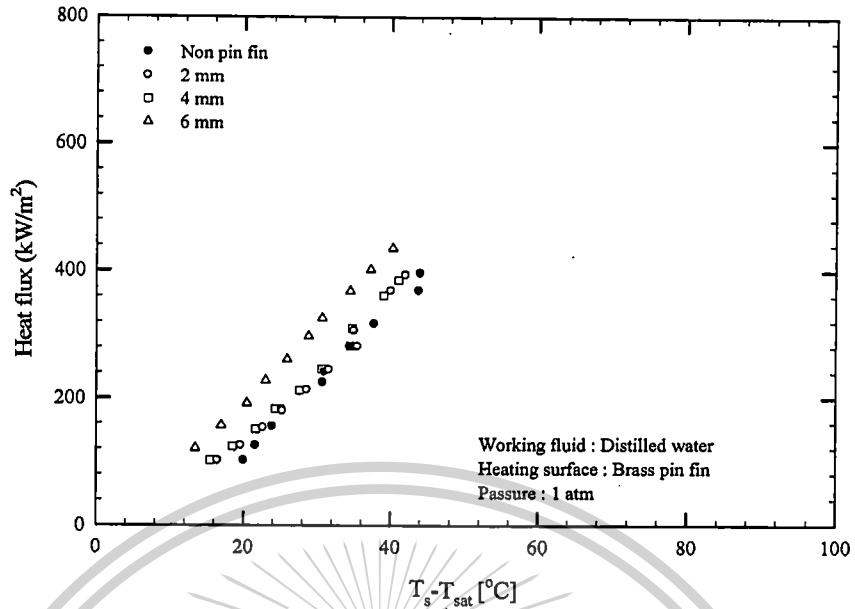
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

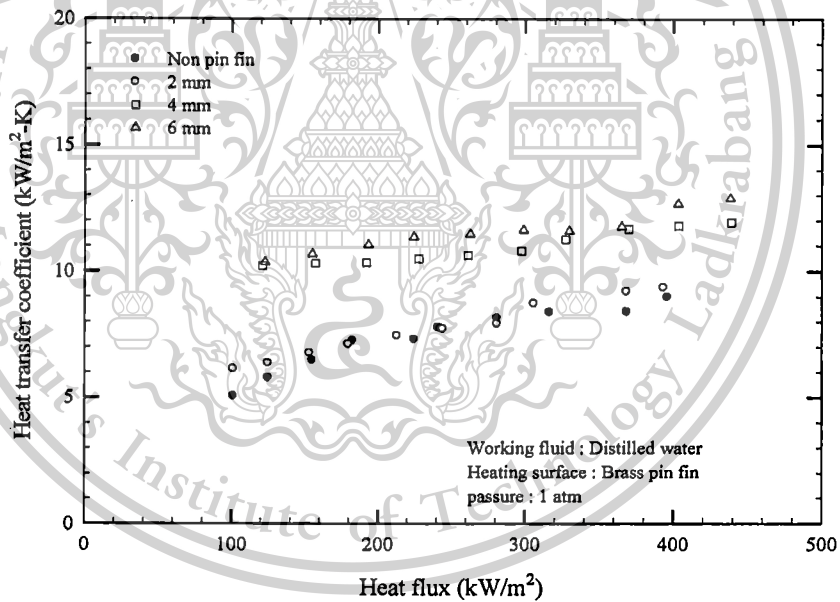


(ข) Pool boiling heat transfer coefficient

ภาพที่ ข.6 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำ โดยติดตั้ง Copper pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่มีความสูง 2, 4 และ 6 mm.



(ก) Pool boiling curve



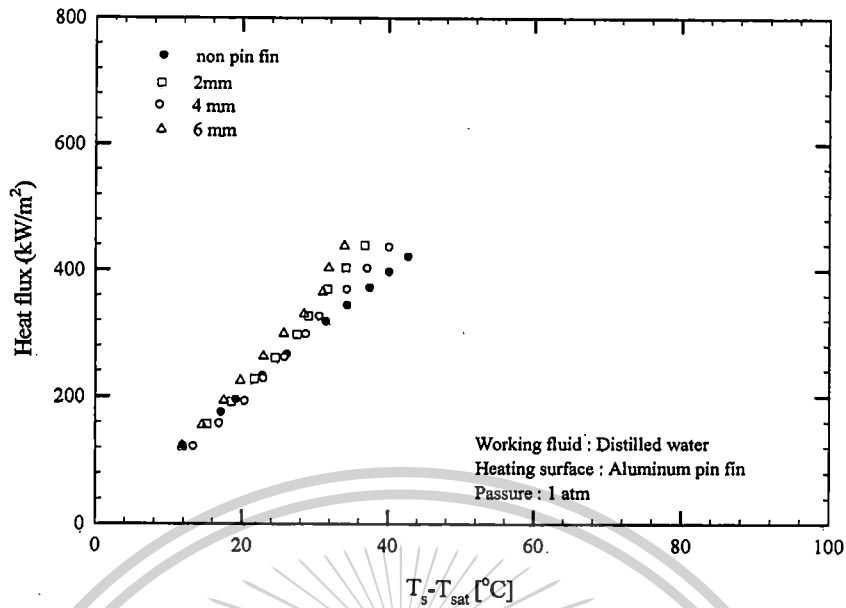
(ข) Pool boiling heat transfer coefficient

ภาพที่ ข.7 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำ โดยติดตั้ง Brass pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่มีความสูง 2, 4 และ 6 mm.

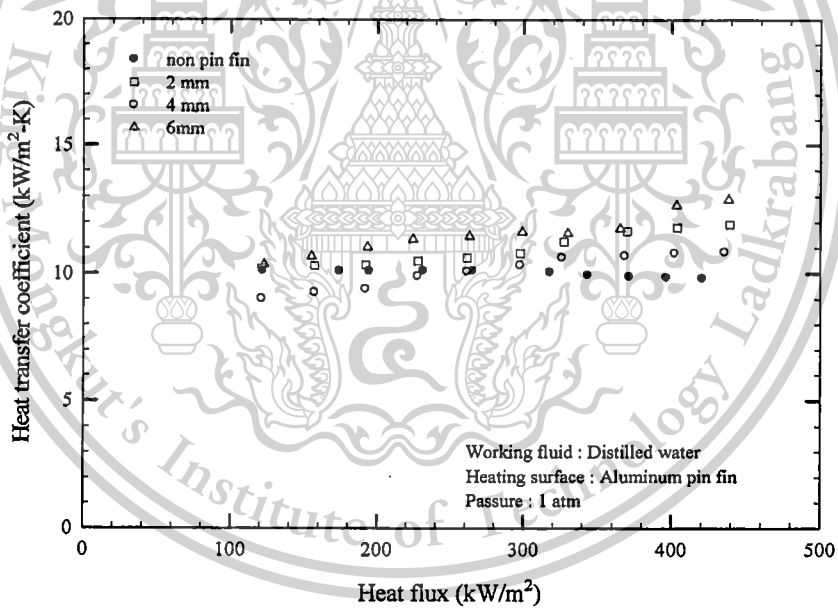
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก) Pool boiling curve



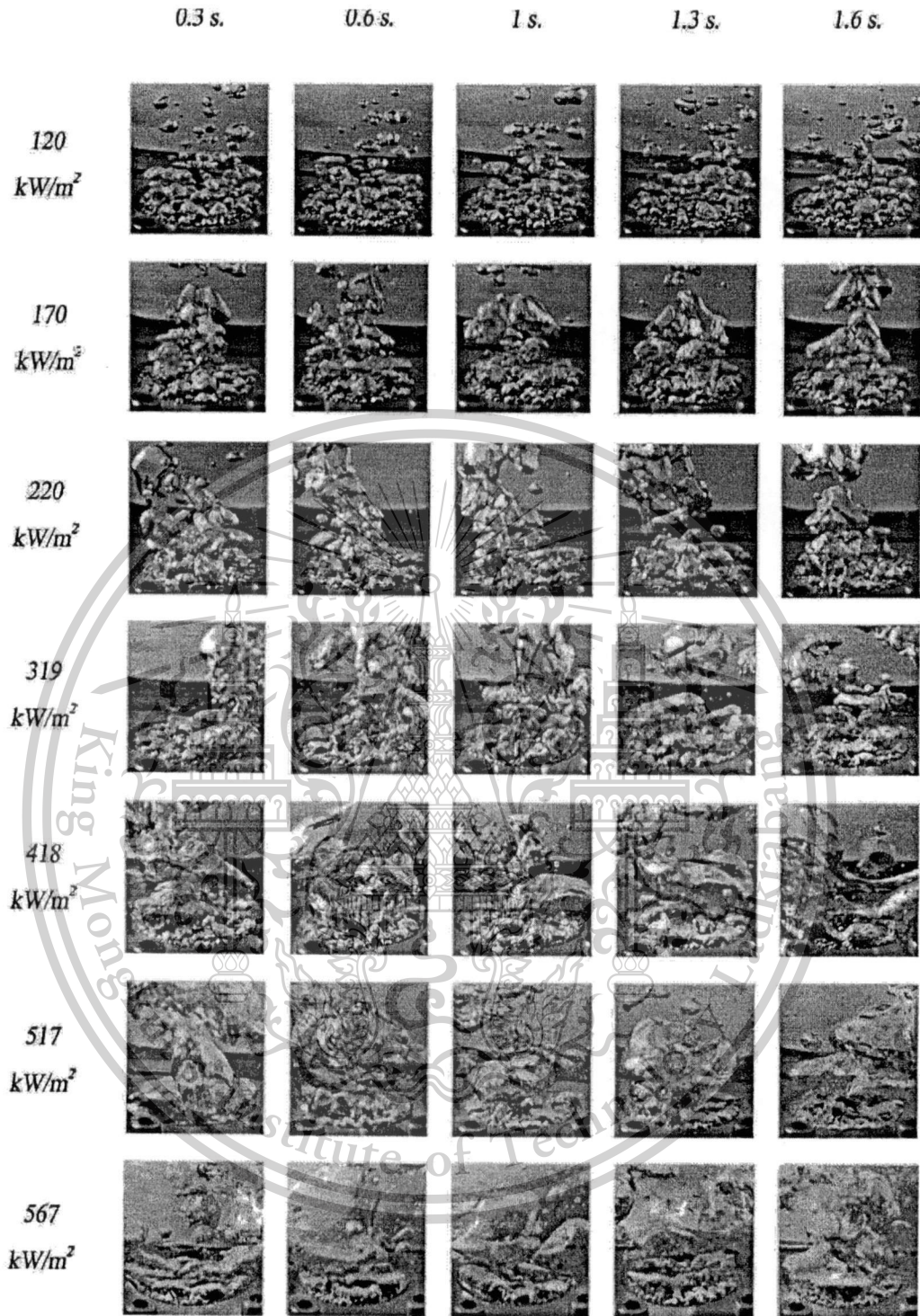
(ข) Pool boiling heat transfer coefficient

ภาพที่ ข.8 แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบ nucleate pool boiling ของน้ำ โดยติดตั้ง Aluminum pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ความสูง 2, 4 และ 6 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

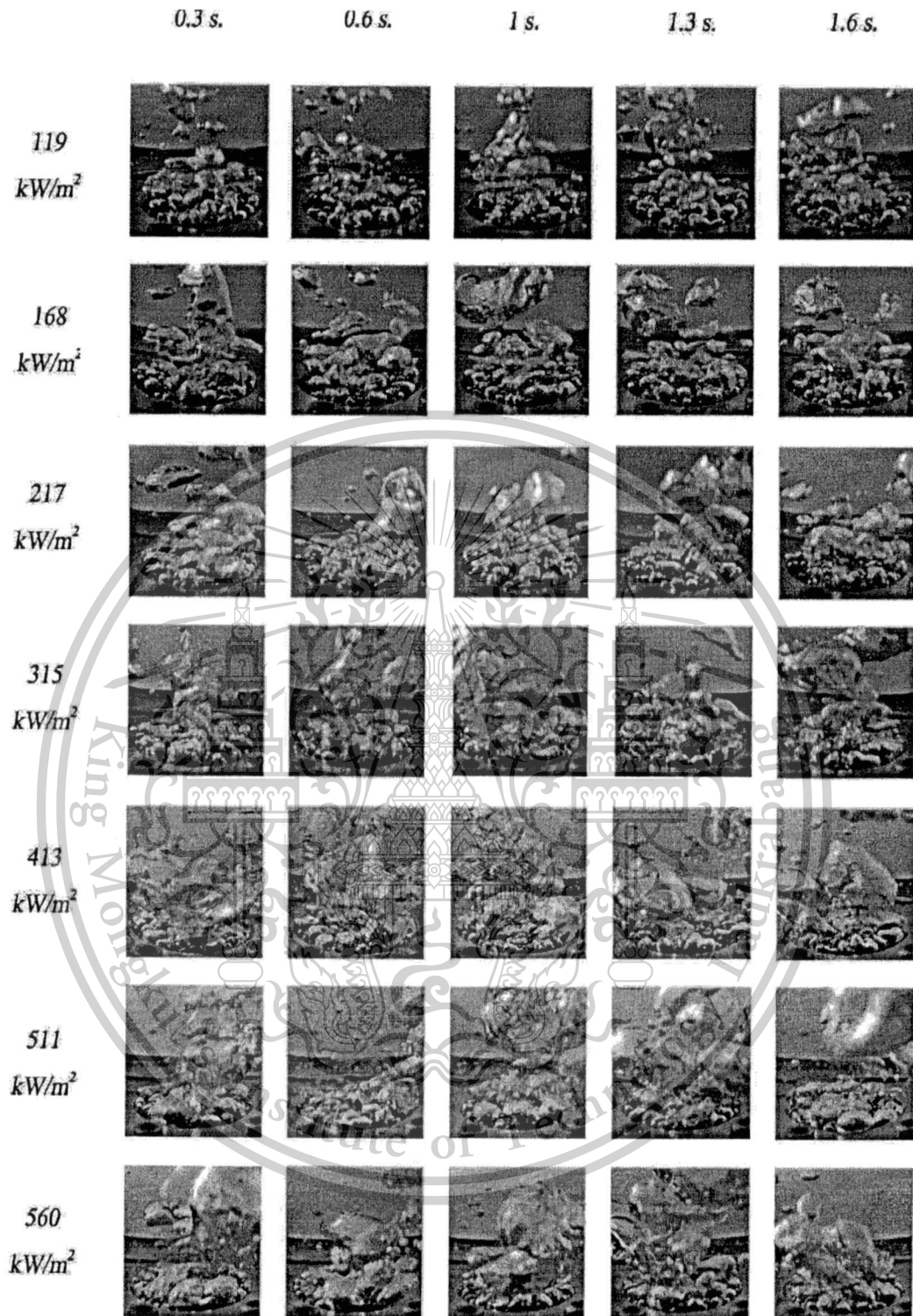


ภาพที่ ข.9 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Non Copper Pin Fin บนพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

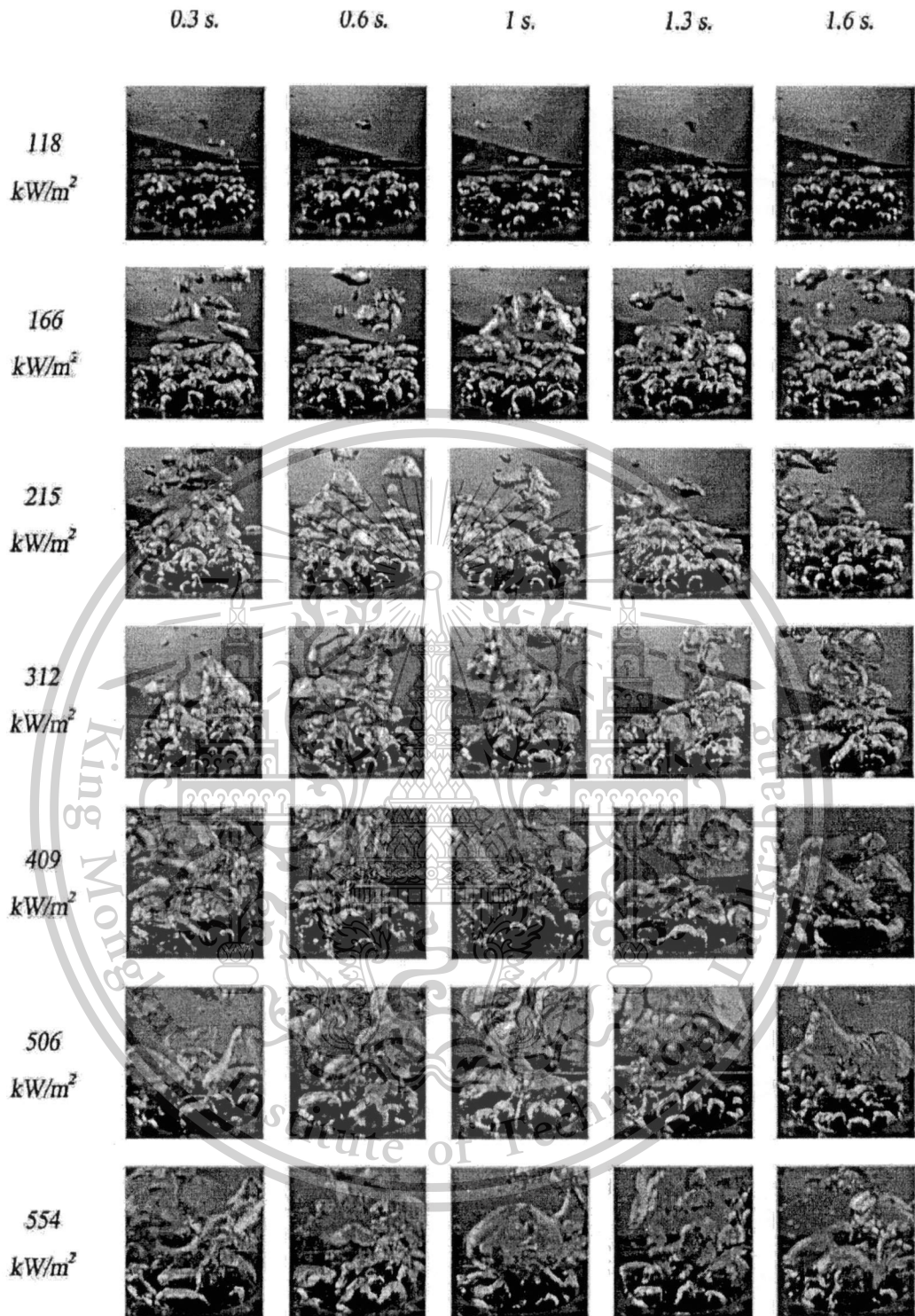


ภาพที่ ข.10 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Copper pin fin ความสูง 2 mm. บนพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

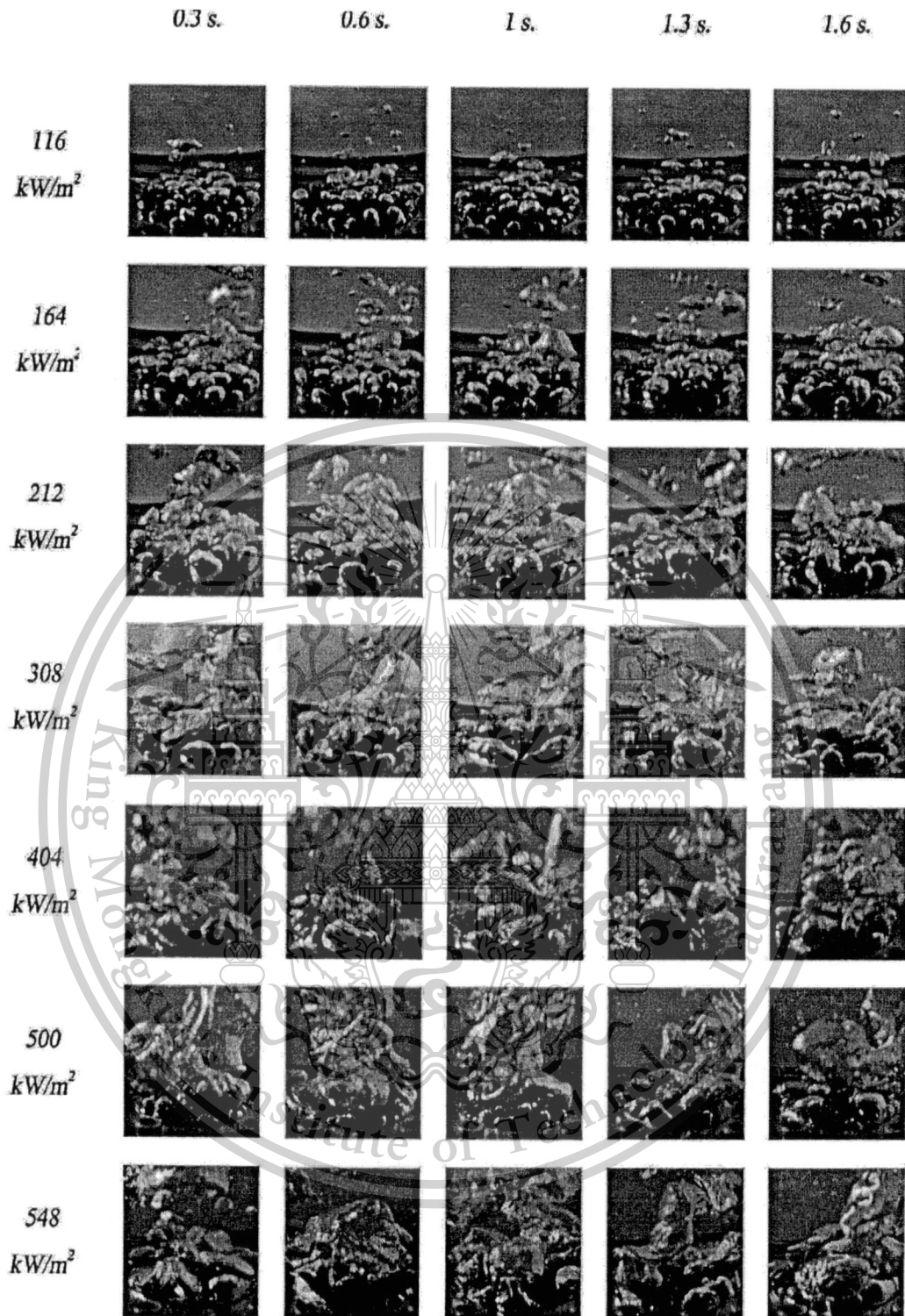


ภาพที่ ข.11 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Copper pin fin ความสูง 4 mm. บนพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

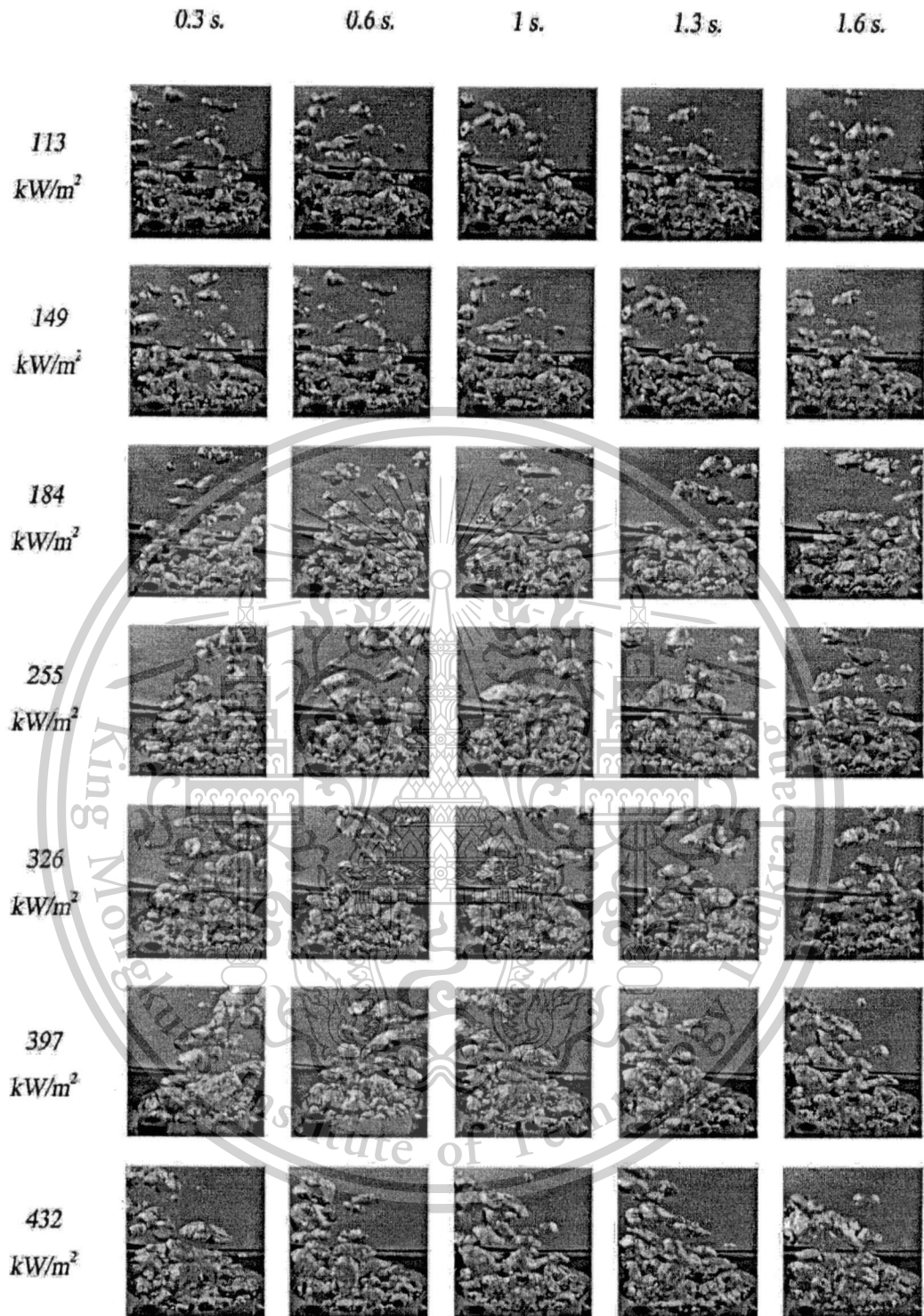


ภาพที่ ข.12 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Copper pin fin ความสูง 6 mm. บนพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

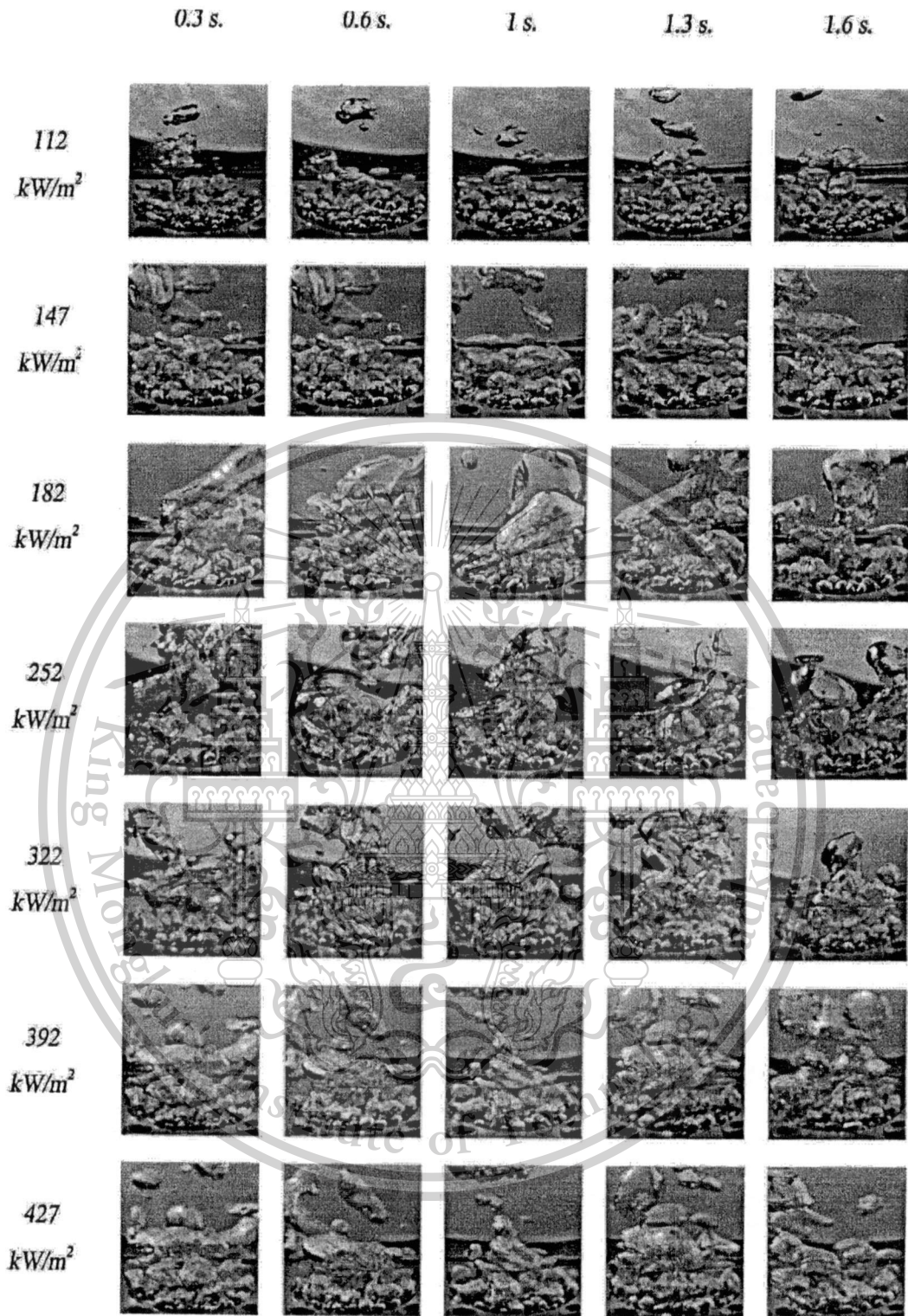


ภาพที่ ข.13 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Non Brass pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

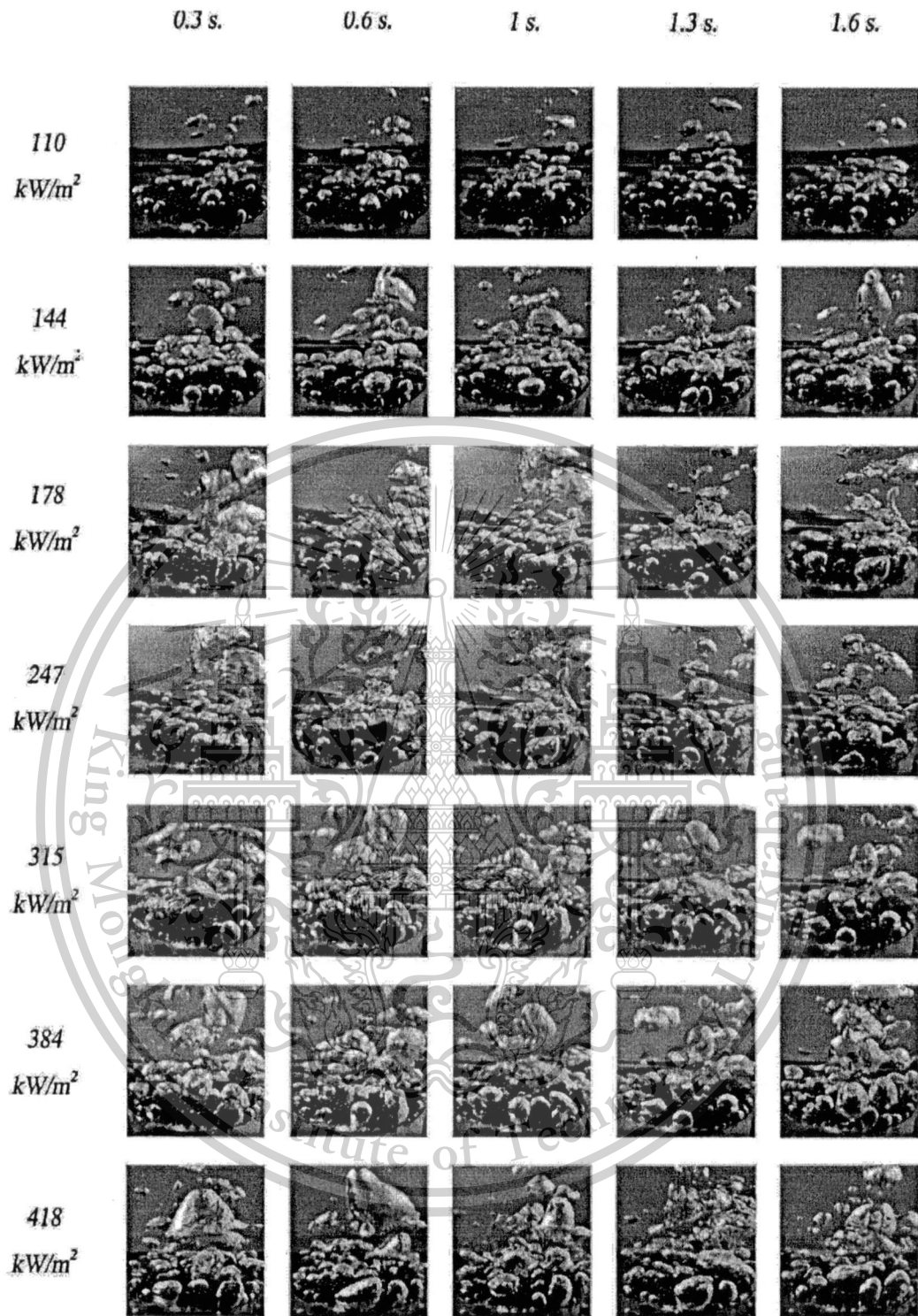


ภาพที่ ข.14 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Brass pin fin ความสูง 2 mm. บนพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

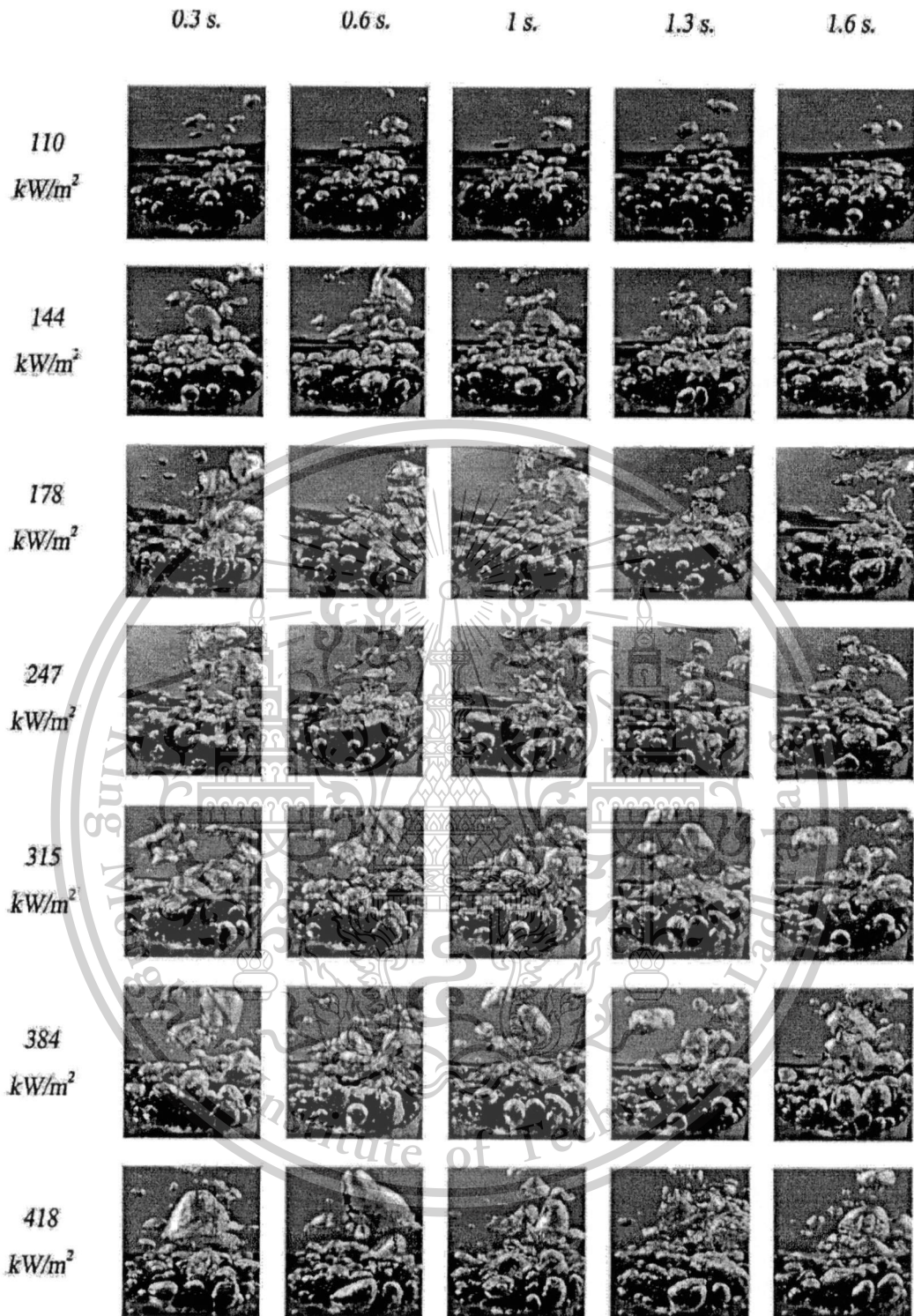


ภาพที่ ข.15 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Brass pin fin ความสูง 4 mm. บนพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

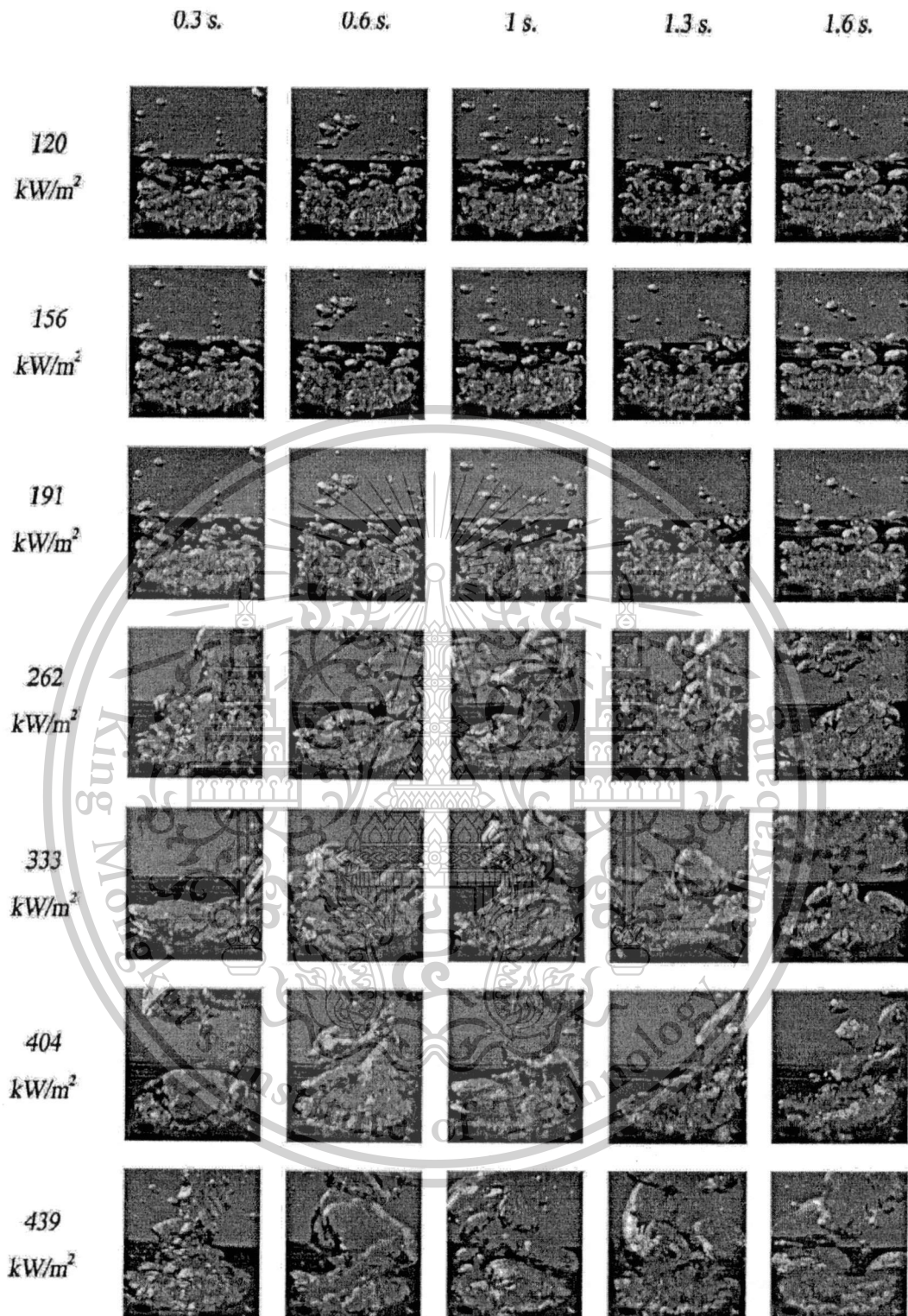


ภาพที่ ข.16 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Brass pin fin ความสูง 6 mm. บนพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

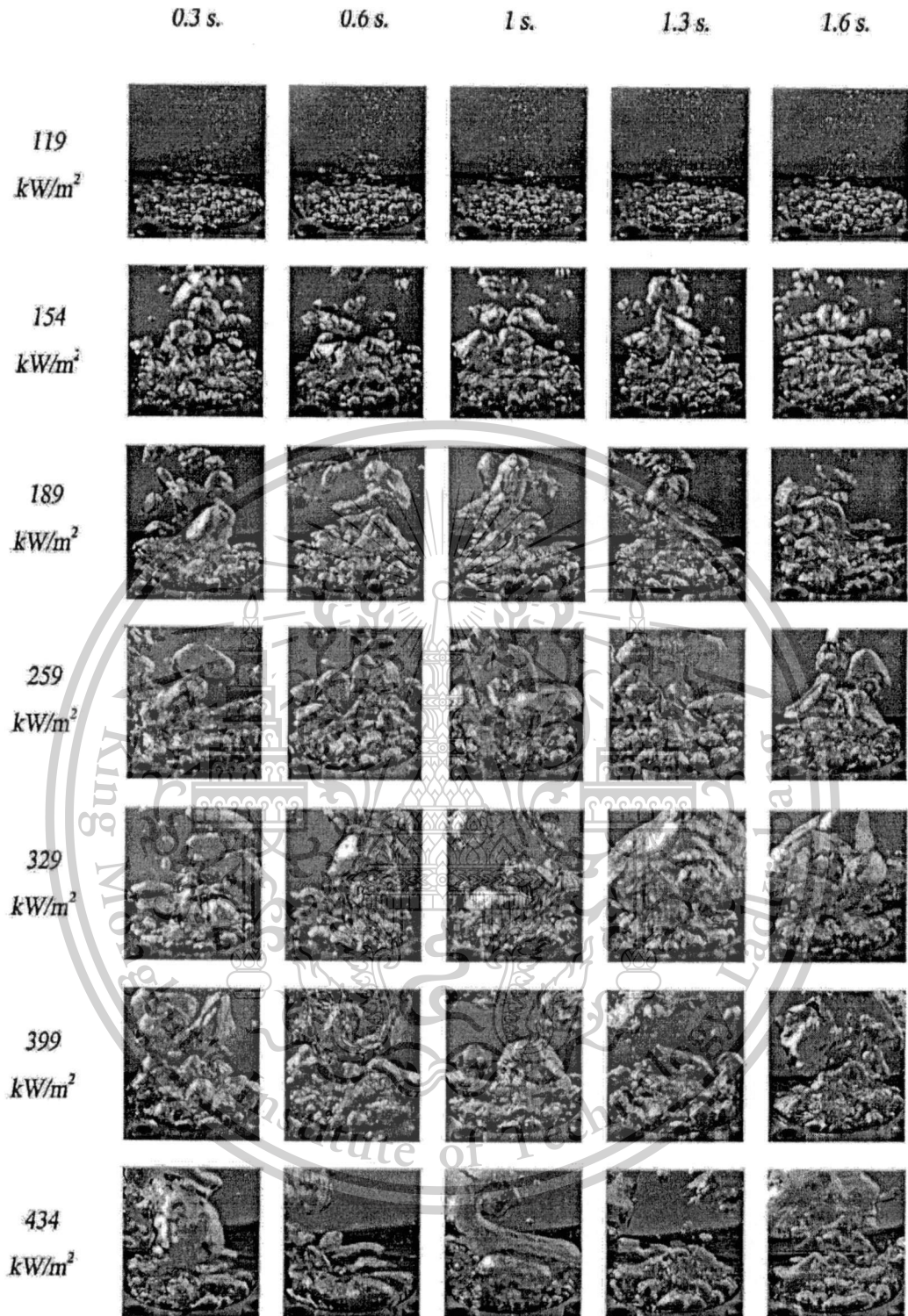


ภาพที่ ข.17 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Non-Aluminum pin fin บนพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

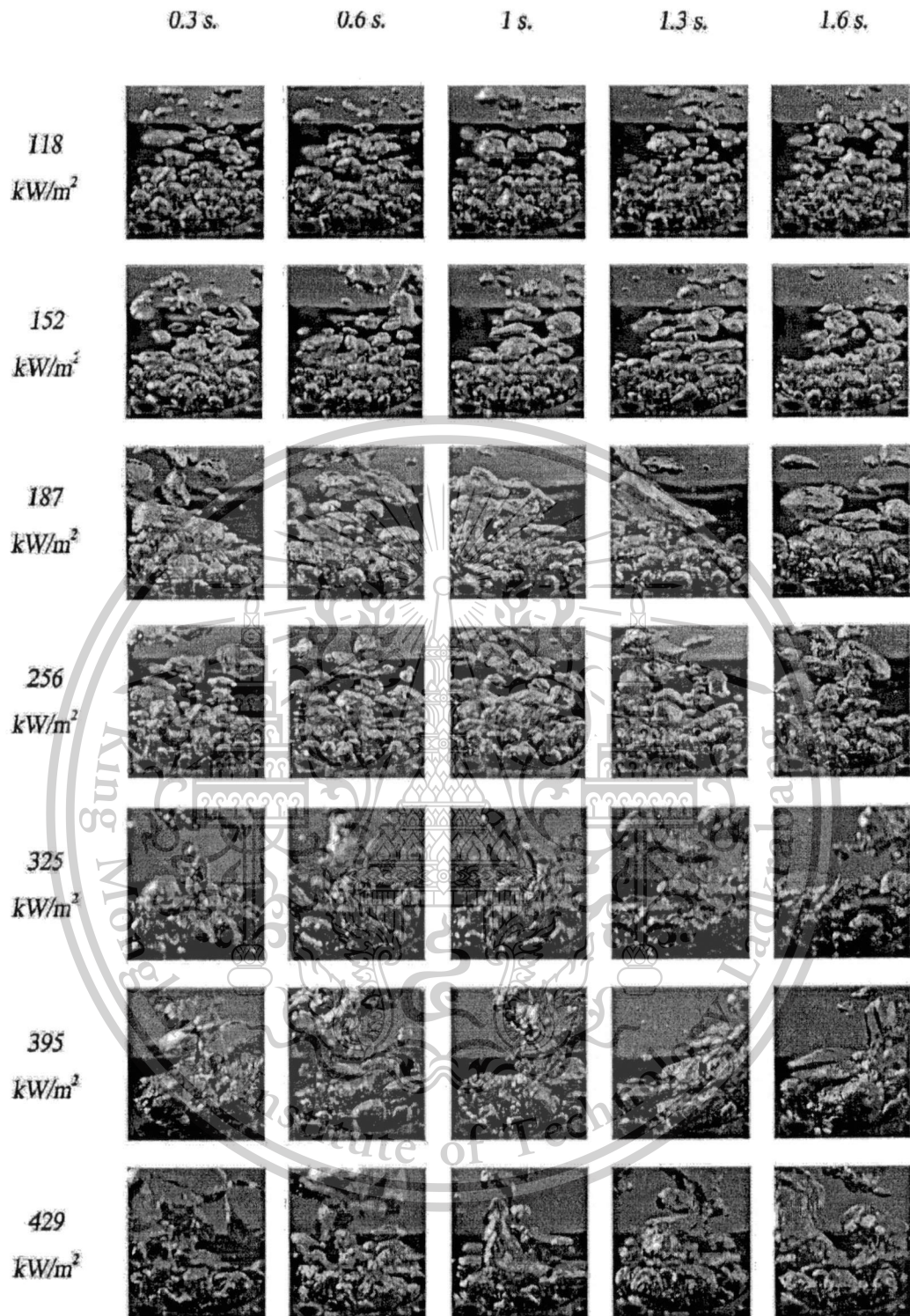


ภาพที่ ข.18 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Aluminum pin fin ความสูง 2 mm. ไว้บนพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

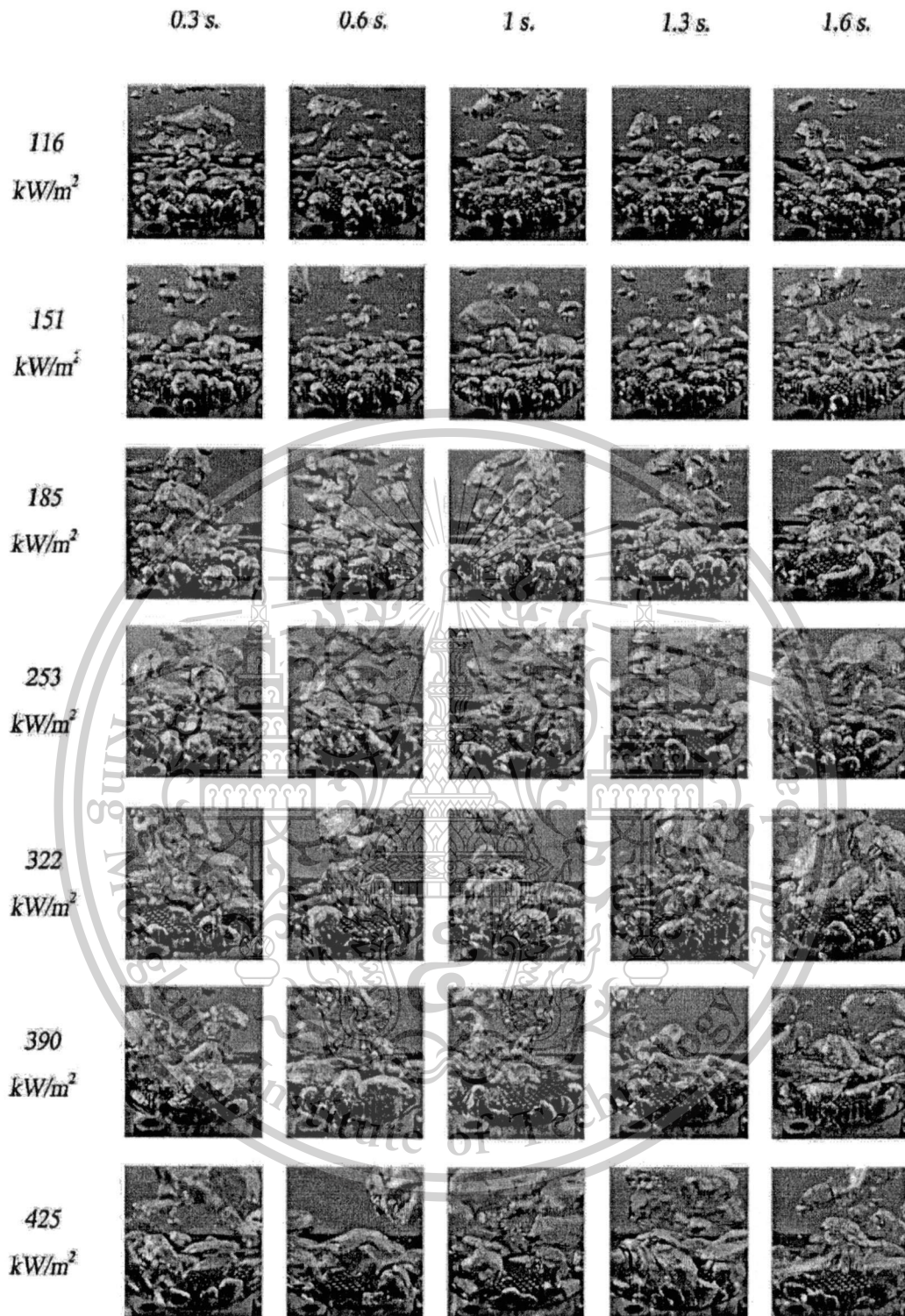


ภาพที่ ข.19 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Aluminum pin fin ความสูง 4 mm. วัจนพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ ข.20 แสดงปรากฏการณ์ของการเดือดของน้ำกลั่นโดยติดตั้ง Aluminum pin fin ความสูง 6 mm. ไวบนพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

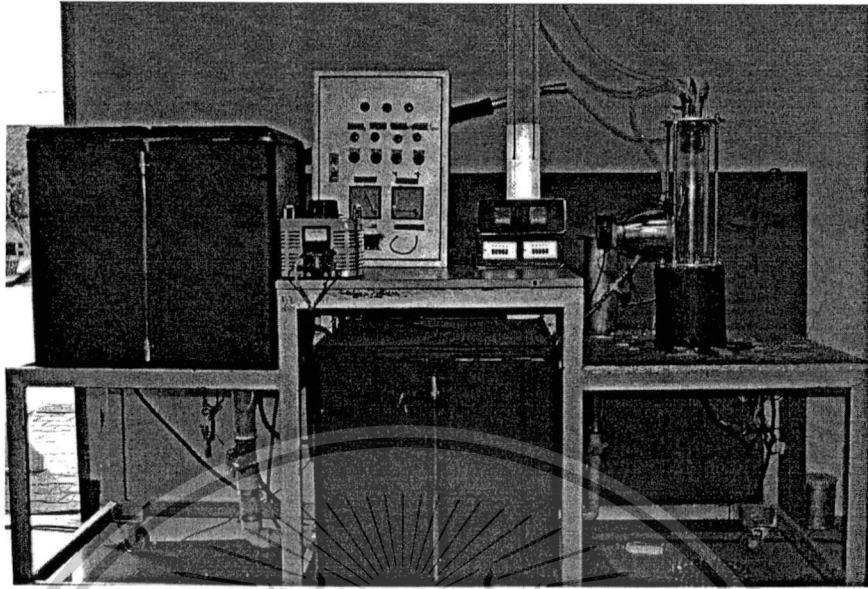


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อุปกรณ์ในการทดลอง



ภาพที่ ค.1 ภาพชุดอุปกรณ์การทดลอง



ภาพที่ ค.2 หลอดแก้วที่ภายในติดตั้ง Copper fin, Brass fin และ Aluminum fin เพื่อทำการทดลองการถ่ายเทความร้อนแบบ Pool boiling

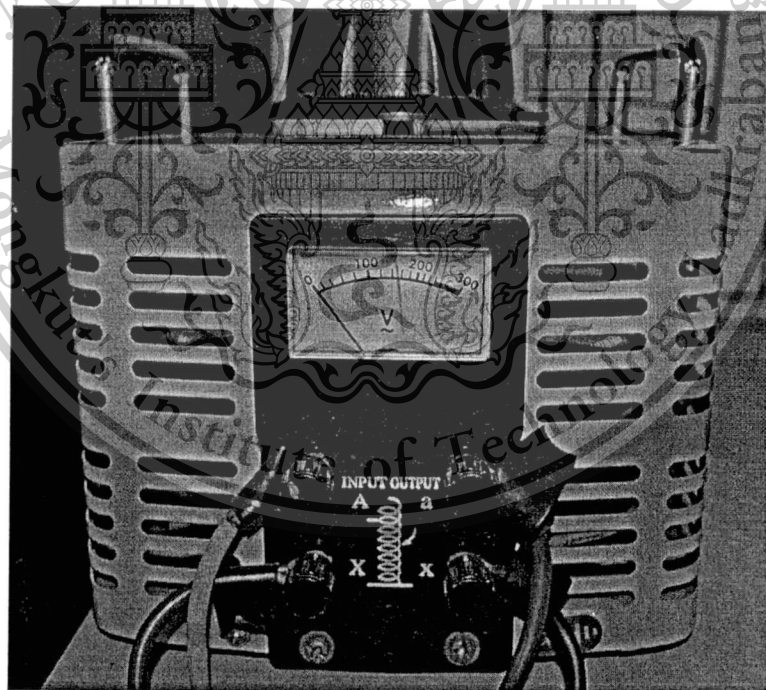
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ ค.3 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าของอุปกรณ์ทดลอง

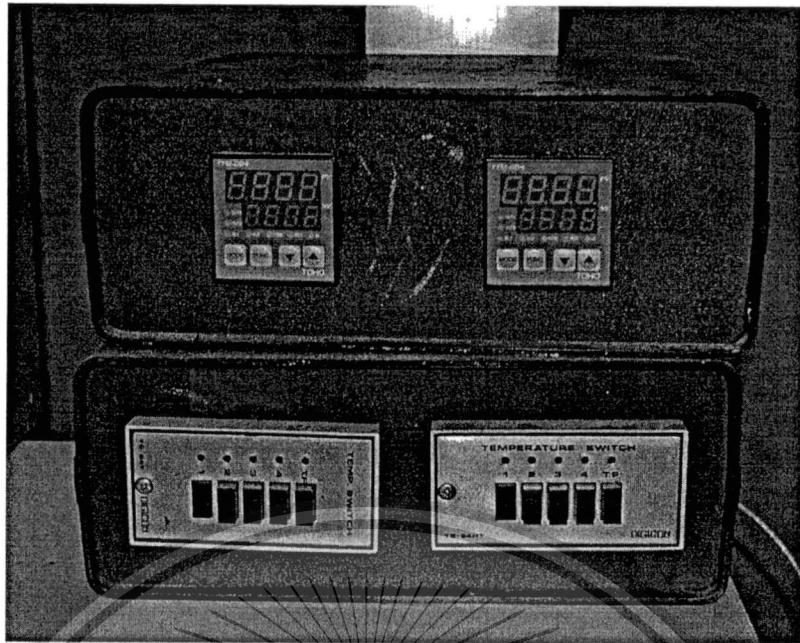


ภาพที่ ค.4 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าได้

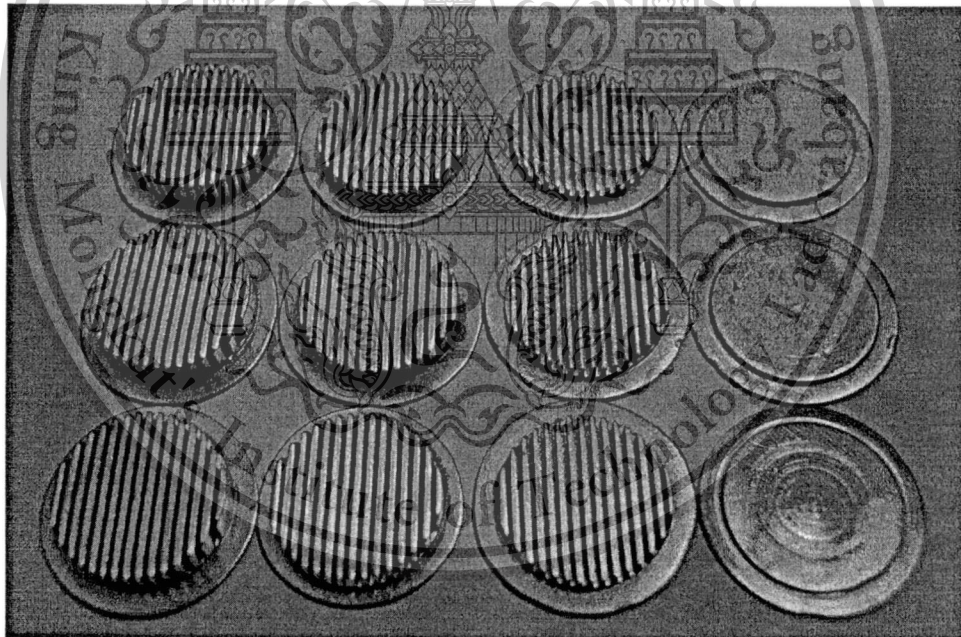
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ ค.5 ตัวแสดงค่าอุณหภูมิ (Temperature)



ภาพที่ ค.6 ชั้นวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ทำจาก ทองแดง ทองเหลือง และ อลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 3 รอบ 18 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2556

หน่วยงาน วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

 แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ) แหล่งเงินรายได้ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ลักษณะเฉพาะของการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดสำหรับพื้นผิววัสดุทางเลือกใหม่
“ไมโครพอร์สมีเดีย”(ภาษาอังกฤษ) Boiling Heat Transfer Characteristics for the New Alternative Surface Materials
“Microporous Media”

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย (อ./ดร./ผศ./รศ./ศ.) อาจารย์อดิเรก สุริยะวงศ์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2557

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2556

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 391,200 บาท 100 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว)

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว			
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน			
ค่าใช้สอย			
ค่าวัสดุ	391,200	391,200	0
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์			
รวม	391,200	391,200	0

(.....อดิเรก สุริยะวงศ์.....)

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

29 / กันยายน / 2557

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

29 ส.ค. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายอดิเรก สุริยวงค์

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Adirek Suriyawong

ตำแหน่งปัจจุบันอาจารย์

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มือถือ 081-354-3663 e-mail: ksadirek@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2552
วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร	2547

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

Boiling and Condensation Heat Transfer, Heat transfer Application, Multiphase flow

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพใน

2009 National Research Council of Thailand (NRCT), Thailand

Research: Experimental Study on the Nucleate Boiling of Nanofluids Applied for the Refrigeration and Air Conditioning.

2007 Energy Policy and Planning Office (EPPO), Ministry of Energy, Thailand.

Research: Boiling of a New Alternative Refrigerant "Nanofluid".

ผลงานวิจัย : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

- 1 Saenmart K., Cheowuttikul P., Suriyawong A., Wongwises S. (2008) Onset of flooding in a small diameter tube. International Communications in Heat and Mass Transfer, Volume 35, Issue 4, Pages 458-465
- 2 Suriyawong A., Wongwises S. (2010) Nucleate pool boiling heat transfer characteristics of TiO₂-water nanofluids at very low concentrations, Experimental Thermal and Fluid Science, Volume 34, Issue 8, Pages 992-999
- 3 M. Balcilar, A.S. Dalkilic, A. Suriyawong, T. Yiamsawas, S. Wongwises, (2012) Investigation of pool boiling of nanofluids using artificial neural networks and correlation development techniques, International Communications in Heat and Mass Transfer, Volume 39, Issue 3, March 2012, Pages 424-431.
- 4 Adirek Suriyawong and Somchai Wongwises, (2012) Effect of Nanofluid Concentration on the Nucleate Pool Boiling Heat Transfer Enhancement on

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

a Copper Plain Surface, The International conference of the Thai Society of Agricultural Engineering April 4–5, 2012, Chiangmai Thailand.

5 Adirek Suriyawong and Somchai Wongwises, (2012) Effects of Surface Material and Surface Roughness on the Nucleate Boiling Heat Transfer Enhancement, The 3rd TSME International Conference on Mechanical Engineering, October 2012, Chiang Rai.

6 สมชาย วงศ์วิเศษ และ อติเรก สุริยะวงศ์ (2554) “การเดือดของของไหลนาโน” ราชบัณฑิตยสถานแห่งราชอาณาจักรไทย (อยู่ระหว่างรอการตีพิมพ์)

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นายปัญญา แดงวิลักษณ์

ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Panya Daungviluilux

ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์

หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

17/1 หมู่ 6 ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160

โทรศัพท์ และโทรสาร 0-77 59-1450, 086-7546234

e-mail : kdpanya@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2542
วศ.บ.เกียรตินิยมอันดับ 2	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยสยาม	2539

สาขาวิชาที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ(แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)ระดับสาขาวิชาการ

1.การออกแบบเครื่องจักรกลการเกษตร

2. Graphic Design, CAD CAM CAE, Network, คอมพิวเตอร์

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งภายใน และภายนอกประเทศ

1. ศิระ สายศร, วสันต์ ดั่งคำจันทร์, ปัญญา แดงวิลักษณ์ “การศึกษากลไกการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วมกับฟลูอิดไดซ์เบด”การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, หน้าที่ 860-863. ตุลาคม 2547, จ.ขอนแก่น
2. ศิระ สายศร ปัญญา แดงวิลักษณ์ “การเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวโพดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟและเครื่องอบแห้งแบบหมุนวนร่วมกับไมโครเวฟ”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, หน้าที่ 1079-1084. ตุลาคม 2548, จ.ภูเก็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ จำลอง ปราบแก้ว. “เครื่องบีบน้ำมันปาล์มขนาดเล็กสำหรับกลุ่มเกษตรกร”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, หน้า 360-365. ตุลาคม 2548, จ.ภูเก็ต
4. ดิษฐพร ตุงโสธานนท์, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ วชร กาลาสี. 2549. “ความต้องการพลังงานภาคการผลิตของประเทศไทยในแต่ละช่วงของเศรษฐกิจ: ส่วนที่ 1 ช่วงปี 1987-2004”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
5. วชร กาลาสี, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. 2549. “แนวโน้มความต้องการพลังงานในภาคการผลิตของไทย: ส่วนที่ 2 (2005-2020)”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
6. ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, ศิระ สายศร “เครื่องบีบน้ำมันปาล์มแบบสายพานรองอัดขนาดเล็กสำหรับกลุ่มเกษตรกร” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2018-20 ตุลาคม 2549 จังหวัดนครราชสีมา
7. กฤษ สมนึก ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ วชร กาลาสี “พัฒนาการอบปาล์มน้ำมันด้วยไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
8. ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ จำลอง ปราบแก้ว “เครื่องแยกผลปาล์มออกจากทะเลแบบลากจูง” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
9. ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ และ กฤษ สมนึก “เครื่องเคลือบโซลล์” การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10 ประจำปี 2552, 1-3 เมษายน 2552 ณ สุรธรรมนิรมิต ม. เทคโนโลยีสุรนารี
10. ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, วชร กาลาสี “การพัฒนาเครื่องไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่องในการอบผลหมาก” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่
11. ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ “การทำความเย็นแบบแอร์ฟอล์ยสำหรับกล้วยเล็บมือนางบรรจุกล่อง” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี
12. ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ และ จำลอง ปราบแก้ว “การพัฒนาเครื่องแยกเนื้อและเมล็ดปาล์มกึ่งอัตโนมัติสำหรับกลุ่มเกษตรกร” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี
13. Patara Suppatkul, Panya Daungvilailus and Chamlong Prabkeao. “Development of Palm Oil Pressing Machine Without Sterilization Process” International Workshop Strengthening the Application of Agricultural Engineering and Post harvest Technology for Effective and Sustainable Development in Agricultural Production, pp 129, Dec 2005, Hanoi, Vietnam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

14. สิ่งประดิษฐ์ “ เครื่องแยกผลปาล์มจากทะเลลาย ชนิดดัดกลมและฐานหมุน ” จำลอง ปราบแก้ว , จารุวัตร เจริญสุข และ ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ “ ผลงานดีเด่น สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ.2545ได้รับอนุสิทธิบัตร เลขที่ 1339 เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2546. และได้เผยแพร่ใน วารสารสมาคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ปีที่ 2 เล่มที่ 3 ประจำเดือนกุมภาพันธ์- มีนาคม 2546 , วารสาร UP DATE, ปีที่ 18 ฉบับที่ 185 ประจำเดือน มกราคม 2546. และจดหมายข่าว ปาล์มน้ำมัน ปีที่ 3 ฉบับที่ 4 เดือน ธันวาคม 2545 – กุมภาพันธ์

ผู้ร่วมโครงการวิจัย: ดร.ศิริระ สายศร

ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นายศิริระ สายศร

ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Sira Saisorn

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงานที่อยู่

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

17/1 ม.6 ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160

โทรศัพท์. +66 4858 1596, +66 7759 1444-6 โทรสาร. 0-77591445

อีเมลล์: kssira@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.ด.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2553
วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2545
วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2542

สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

การไหลสองสถานะในท่อขนาดไมโครแชนแนล, เทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน
ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

- 1.Saisorn S, Wongwises S. A review of two-phase gas-liquid adiabatic flow characteristics in micro-channels. Renewable & Sustainable Energy Reviews 2008; 12: 824-838. มี impact factor 4.842
- 2.Saisorn S, Wongwises S. Flow pattern, void fraction and pressure drop of two-phase air-water flow in a horizontal circular micro-channel. Experimental Thermal and Fluid Science 2008; 32: 748-760. มี impact factor 1.234

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. Saisorn S, Wongwises S. An inspection of viscosity model for homogeneous two-phase flow pressure drop prediction in a horizontal circular micro-channel. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2008; 35: 833-838. มี impact factor 1.189
 4. Saisorn S, Wongwises S. An experimental investigation of two-phase air-water flow through a horizontal circular micro-channel. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2009; 33: 306-315. มี impact factor 1.234
 5. Saisorn S, Wongwises S. The effects of channel diameter on flow pattern, void fraction and pressure drop of two-phase air-water flow in circular micro-channels. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2010; 34: 454-462. มี impact factor 1.234
 6. Saisorn S, Kaew-On J, Wongwises S. Flow pattern and heat transfer characteristics of R-134a refrigerant during flow boiling in a horizontal circular mini-channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2010; 53: 4023-4038. มี impact factor 1.947
 7. Saisorn S, Wongwises S. Two-phase flow in circular micro-channels. *EI International Conference on Heat Transfer and Fluid Flow in Microscale; Whistler Canada, September 21-26, 2008.*
 8. Saisorn S, Kaew-On J, Wongwises S. Flow boiling heat transfer characteristics of R-134a in horizontal and vertical mini-channels. *8th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels; Montreal Canada, August 1-5, 2010.*
 9. ศิระ สายศร, วสันต์ ดั่งวงคำจันทร์, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, “การศึกษาการไหลของของไหลสองเฟสในช่องไมโครแชนเนลแบบวงกลม”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, 18-20 ตุลาคม 2547 จังหวัดขอนแก่น
 10. ศิระ สายศร, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, “การเปรียบเทียบการไหลของของไหลสองเฟสในช่องไมโครแชนเนลแบบวงกลมและไมโครแชนเนลแบบสี่เหลี่ยม”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดสงขลา
- รางวัลที่เคยได้รับ (ด้านวิชาการโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวกับงานวิจัย)
- Outstanding oral presentation in RGJ-Ph.D. Congress IX April 4-6, 2008
- ทุนวิจัยที่เคยได้รับ
- ทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร 2546-2547
 - ทุนปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (2549-2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผู้ร่วมโครงการวิจัย: นายไชยรัตน์ เพชรคีรี

ชื่อ - สกุล (ภาษาไทย) นายไชยรัตน์ เพชรคีรี

ชื่อ - สกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Chairat Petkeree

ตำแหน่ง นายช่างเทคนิค

หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

17/1 หมู่ 6 ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160

โทรศัพท์ และโทรสาร 0-7759-1411

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร	2525

สาขาวิชาที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ
-เครื่องมือกล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.