หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์

2.1 การกำหนดเงื่อนไขในการสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์

ในการสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์ เราต้องศึกษาและกำหนดเงื่อนไขในการสร้าง เพื่อให้ได้ฮีทไปป์ที่มีคุณภาพดีและจำนวนที่เสียน้อย ในงานวิจัยนี้ฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่สร้างขึ้นเป็นหลอดแก้ว เพื่อให้สังเกตการทำงานภายในได้ชัดเจน ส่วนของไหลใช้งานคือน้ำ วิธีในการสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่เลือกใช้เป็นแบบออยบาธ เพราะเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และเหมาะสมกับการผลิตในปริมาณมาก เงื่อนไขที่ทำการศึกษาและกำหนดมีดังต่อไปนี้:

1. ศึกษาว่าอุณหภูมิของออยบาธควรตั้งไว้ที่ค่าเท่าใด เพื่อให้เกิดแรงดันไอที่มากพอที่จะขับไล่อากาศออกอย่างราบรื่นตลอดเวลา ทั้งนี้เพราะถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Geyser effect (15) นั่นคือการพุ่งกระเด็นของน้ำออกจากหลอดแก้วอย่างรวดเร็ว ในลักษณะเป็นห้วง ๆ การศึกษาทำโดยการจุ่มหลอดแก้วที่ปลายล่างปิดก้นไว้ แต่ปลายบนทำเป็นคอคอด จากนั้นศึกษาปรากฏการณ์การเดือดและการพุ่งออกของไอที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน โดยรักษาปริมาณน้ำที่เติมในตอนแรกให้เท่ากัน จากผลการทดลองพบว่าถ้าอุณหภูมิของออยบาธต่ำเกินไปแรงดันไอจะต่ำและไอน้ำจะไหลออกอย่างเอื่อย ๆ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไอก็จะสูงขึ้น จนถึงช่วงที่เหมาะสมที่สุดคือที่ 120-125° C ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเกิด Geyser effect ขึ้นทั้งในหลอดที่ปลายบนทำและไม่ได้ทำเป็นคอคอด แต่ถ้าต่ำกว่านี้แล้วจะเกิด Geyser effect เฉพาะในหลอดปลายเปิด แต่แรงดันไอในหลอดคอดอดจะยังน้อยเกินไป

2. เวลาที่ใช้ในการต้มเดือดของไหลใช้งานในออยบาธ จากการศึกษาพบว่าเมื่อใส่น้ำประมาณ 3-4 ซี ซี ในหลอดที่ทำเป็นคอคอด แล้วจุ่มหลอดแก้วนี้ลงในน้ำมันลึก 20 ซ.ม. โดยหุ้มโฟมยาว 7 ซ.ม. และส่วนที่เหลืออยู่ในอากาศ จะต้องใช้เวลาประมาณ 2 นาที นับตั้งแต่จุ่มลงในออยบาธที่ 120-125° C จนเริ่มเดือด และปริมาณน้ำในหลอดแก้วจะเดือดหายไป

ในอัตรา 0.06 gm./นาที อนึ่งในกรณีที่จุ่มหลอดแก้วนี้ในน้ำเดือด ปริมาณน้ำที่หายไปจะมีน้อยมาก นั่นคือแม้ต้มนานประมาณ 2 ช.ม. ก็ยังไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในหลอดแก้ว

3. ปริมาณของของเหลวใช้งานที่เหลือบรรจุหลังจากปิดผนึกเรียบร้อยแล้ว ควรตั้งเป้าให้มีปริมาณร้อยละ 15 ของปริมาตรภายในของฮีทไปป์ เพราะได้มีผู้วิจัยรายงานว่าปริมาณดังกล่าวจะทำให้การทำงานดีที่สุด (11), (16) (5), (17)

4. เวลาตั้งแต่เริ่มเดือดจนถึงปิดผนึกเสร็จ เมื่อคำนึงถึงความเหมาะสมในการเตรียม การปิดผนึกและใช้ไอไล่อากาศออก เวลาที่สั้นที่สุดที่ให้ผลดีคือเวลาประมาณ 5 นาที

5. ขนาดของคอคอดที่เหมาะสม ควรแต่งคอคอดให้มีขนาดค่อนข้างเล็กเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับเข้าของอากาศในระหว่างที่เชื่อมปิดผนึก

2.2 การสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์

2.2.1 รายละเอียดของฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่สร้างขึ้น

การสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์นี้ได้อาศัยความรู้พื้นฐานในการสร้างฮีทไปป์ที่มีวิกค์ที่ได้พัฒนาขึ้นในห้องวิจัยนี้ (18), (19) ฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่ออกแบบสร้างขึ้นเป็นท่อแก้ว เพื่อให้สามารถสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในท่อในขณะที่เดินเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่สร้างมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

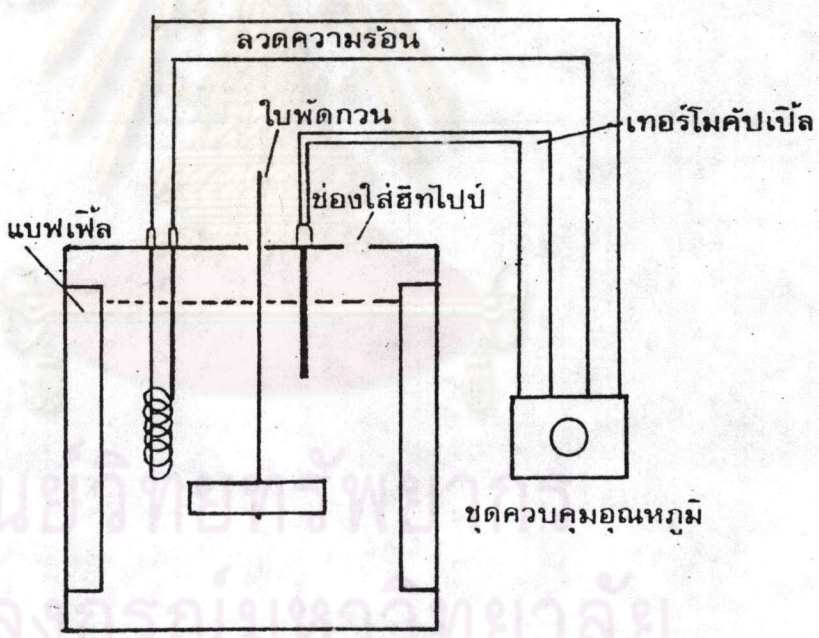
วัสดุที่ใช้ทำท่อ	แก้วแข็ง (Pyrex)
ความยาวของฮีทไปป์	370 ม.ม. $\pm$ 10 ม.ม.
เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก	10 ม.ม.
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	8 ม.ม.
ความหนาของผนัง	1 ม.ม.

ของไหลใช้งาน น้ำกลั่น (triple distillation water ขององค์การเภสัชกรรม)

2.2.2 ออยบาธที่ใช้ในการสร้างฮีทไปป์

วิธีสร้างฮีทไปป์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นวิธีที่ใช้ออยบาธให้ความร้อนต่อฮีทไปป์ เผื่อไล่ที่อากาศที่อยู่ในท่อด้วยไอของของไหลใช้งานที่กำลังเดือด เพราะสามารถควบคุมปริมาณของไหลใช้งานที่เหลืออยู่ภายในท่อฮีทไปป์ได้ และสะดวกต่อการผลิตในจำนวนมาก (mass production)

ออยบาธที่ใช้ประกอบด้วย ชุดควบคุมอุณหภูมิ ลวดให้ความร้อน ใบพัดกวนและภาชนะบรรจุน้ำมันร้อน ดังรูปที่ 2.1

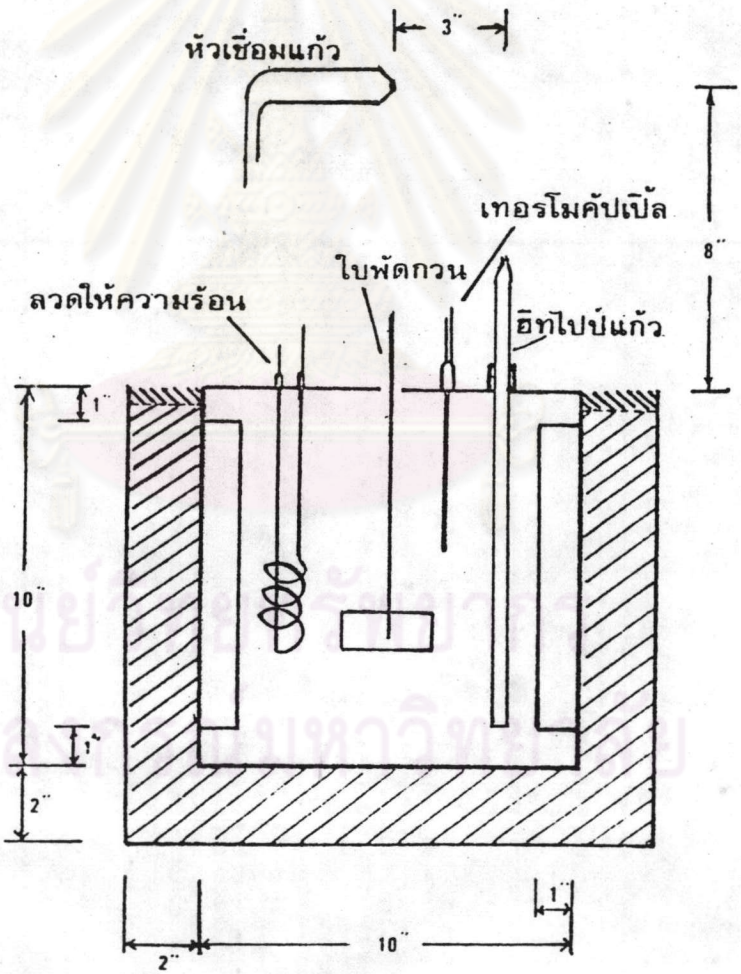


รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมของออยบาธที่ใช้

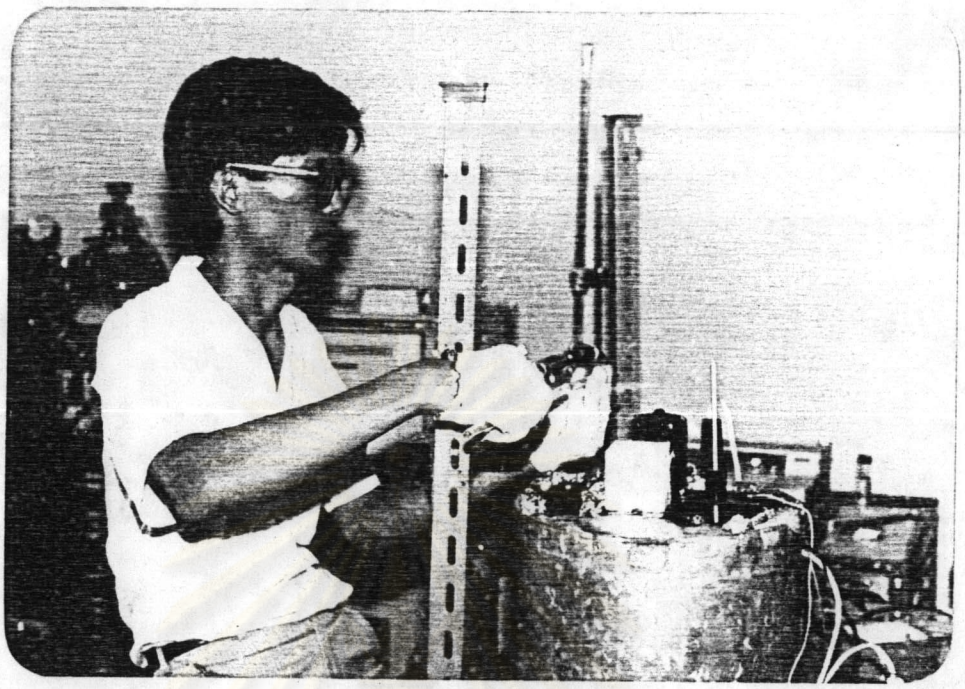
ในการออกแบบออยบาธ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเสมอคือ การควบคุมอุณหภูมิของออยบาธให้คงที่ และการกระจายของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอภายในออยบาธ ดังนั้นจึงต้องมีระบบกวนน้ำมันอย่างสมบูรณ์และชุดควบคุมอุณหภูมิจะ

ต้องไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิด้วย

ออยบาธที่ใช้สร้างฮีทไปป์นี้มีชุดเชื่อมแก้วซึ่งใช้ปิดผนึกปลายท่อแก้วยึดติดไว้ด้วย ตำแหน่งที่ติดตั้งชุดเชื่อมแก้วนี้มีความสำคัญต่อการสร้างท่อฮีทไปป์นี้มาก เพราะว่าในขณะที่ทำการเชื่อมปิดผนึก ถ้าปลายของท่อฮีทไปป์ไม่อยู่ตรงบริเวณที่ร้อนที่สุดของเปลวไฟ ในการปิดผนึกจะทำได้ยากเนื่องจากแก้วหลอมตัวช้าเกินไป ออยบาธที่ใช้ในการทดลองสร้างฮีทไปป์ในงานวิจัยนี้มีขนาดและรูปร่างตามรายละเอียดในรูปที่ 2.2 , 2.3



รูปที่ 2.2 ขนาดของส่วนต่าง ๆ ของออยบาธ



รูปที่ 2.3 ออยบาธและการหลอมแก้ว

2.2.3 ขั้นตอนในการสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์

กรรมวิธีในการสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. นำหลอดแก้ว pyrex ความยาว 1.50 เมตร มาตัดเป็น 3 ท่อน ๆ ละ 50 ซ.ม. และเชื่อมปิดปลายด้านหนึ่งให้เป็นก้นหลอด

2. ทำความสะอาดหลอดด้วยการแช่ในกรดกำมะถันเข้มข้นเป็นเวลา 20 นาที แล้วล้างให้สะอาดด้วยน้ำประปาหลาย ๆ ครั้ง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นธรรมดาและด้วยน้ำกลั่นชนิดพิเศษที่จะใช้บรรจุเป็นของเหลวใช้งาน เสร็จแล้ววางคว่ำไว้จนแห้งโดยธรรมชาติ

3. เอาน้ำกลั่นพิเศษมาต้มไล่อากาศที่ละลายอยู่ออก โดยปล่อยให้เดือดเป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงบรรจุใน burette ที่สะอาดแล้ว เผื่อพร้อมที่จะเติมลงในหลอดแก้วที่ทำคอคอดแล้ว

4. นำหลอดแก้วมาทำคอคอดในตำแหน่งที่ต้องการ หลังจากปล่อยไว้ให้เย็นสักครู่ จึงนำไปบรรจุน้ำกลั่นพิเศษปริมาณ 3.3 c.c. โดยการลนก้นหลอดแก้วด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์เพื่อไล่อากาศออก และให้น้ำกลั่นวิ่งลงไปแทนที่อากาศในหลอดแก้ว

5. ตัดปลายคอคอดให้เหลือความยาวที่พอเหมาะ แล้วนำไปจุ่มในหม้อน้ำเดือดประมาณ 1-2 ซ.ม. เพื่อไล่อากาศที่ละลายอยู่ในน้ำออก จากนั้นย้ายไปต้มเดือดในออยบาธเป็นเวลาประมาณ 5 นาที แล้วจึงเชื่อมปิดปลายคอคอด

2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

การทดสอบสมรรถนะของฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่สร้างขึ้นนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือการทดสอบขั้นต้นเพื่อคัดเลือกฮีทไปป์ที่ไม่ได้มาตรฐานออก และการทดสอบละเอียดเพื่อหาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของแท่งฮีทไปป์

การทดสอบขั้นต้นอาศัยวัสดุอุปกรณ์ดังนี้

1. ออยบาธและชุดควบคุมอุณหภูมิ ชุดเดียวกับที่ใช้สร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์
2. เทปสีสำหรับวัดอุณหภูมิ
3. นาฬิกาจับเวลา

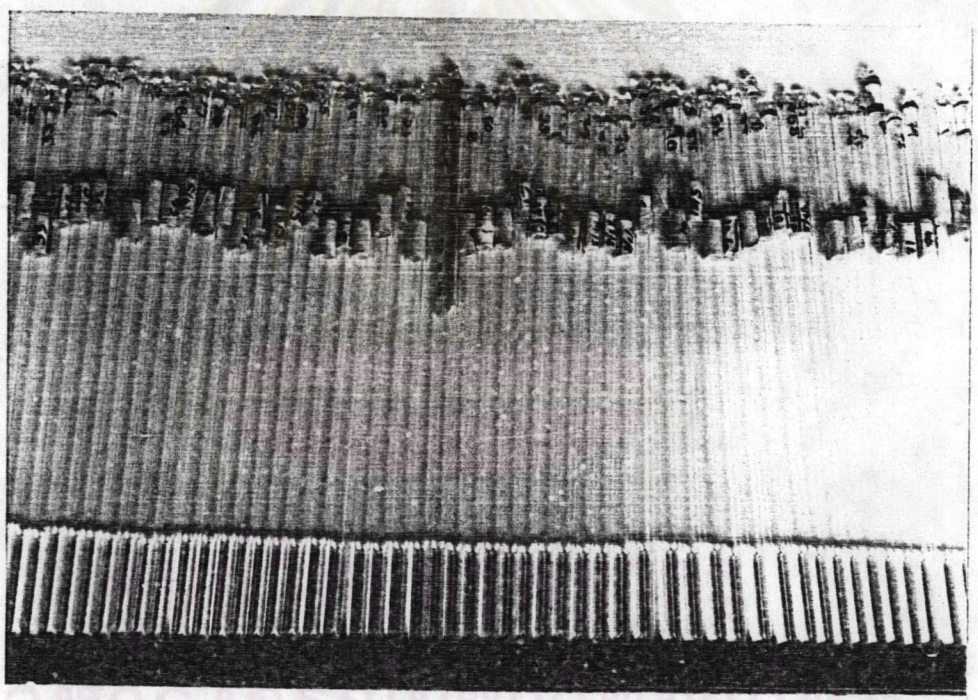
การทดสอบสมรรถนะละเอียดของแท่งฮีทไปป์จะใช้อุปกรณ์ดังนี้

1. เตาไฟฟ้าสำหรับให้ความร้อนต่อช่วงระเหย (สร้างขึ้นเอง)
2. วัตต์มิเตอร์ (หรือโวลท์มิเตอร์ และแอมมิเตอร์ สำหรับวัดกำลังไฟฟ้า)
3. แวริแอค (Variac) สำหรับควบคุมกำลังไฟฟ้า
4. เครื่องระบายความร้อนสำหรับรับความร้อนที่ส่งผ่านแท่งฮีทไปป์
5. เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแบบออริฟิช (orifice)
6. กลไกวัดมุมที่ฮีทไปป์ทำกับแนวระดับ

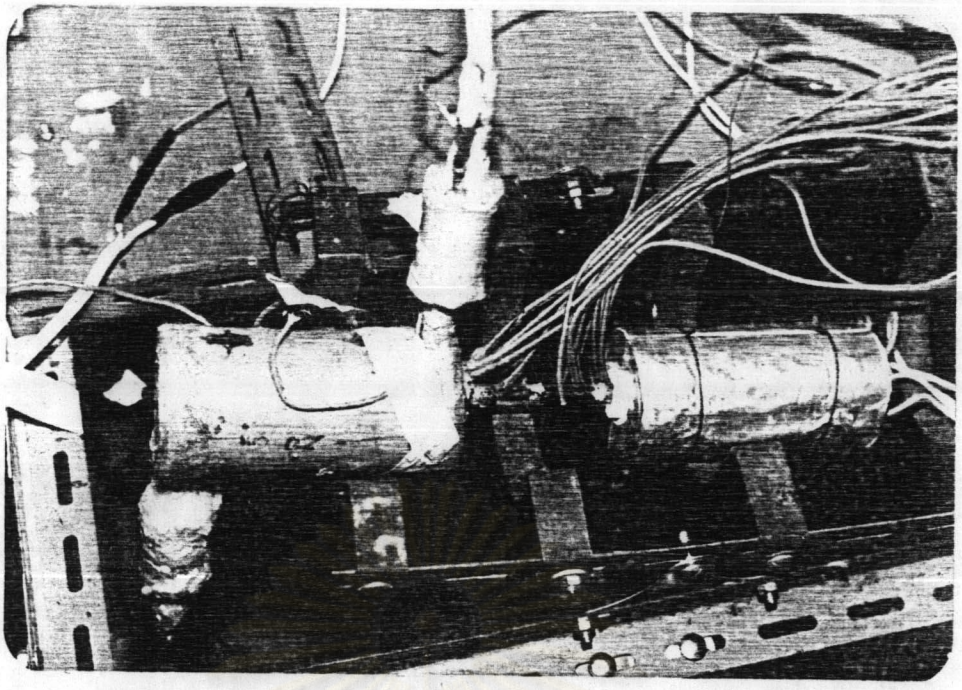
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. เทอร์โมคัพเปิ้ล, เทอร์โมไพล์และเครื่องวัดมิลลิโวลต์เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ
8. ฉนวนความร้อน

ส่วนรูปที่ 2.4 เป็นภาพถ่ายของฮีทไปป์ไร้วิกค์จำนวนหนึ่งที่ได้สร้างขึ้น รูปถ่ายของอุปกรณ์การทดสอบสมรรถนะละเอียดของฮีทไปป์มีแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 ฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่ผลิตขึ้นเอง



รูปที่ 2.5 ระบบทดสอบสมรรถนะของฮีทไปป์ไร้วิกค์

2.4 การทดสอบสมรรถนะฮีทไปป์ไร้วิกค์

2.4.1 การทดสอบขั้นต้น

ในระยะแรกทดสอบ โดยจุ่มแท่งฮีทไปป์ลึก 15 ซ.ม. ในน้ำมันร้อน 125° C ในออยบาธ (ส่วนที่เหลืออยู่ในอากาศ) แล้วใช้นิ้วมือจับปลายด้านบนของฮีทไปป์ เพื่อจับเวลาที่มือรู้สึกเริ่มร้อนนับจากเวลาที่เริ่มจุ่มฮีทไปป์ลงในน้ำมันร้อน ต่อมาปรับปรุงการทดสอบโดยใช้เทปวัดอุณหภูมิ ในขั้นต้นทดลองติดเทปวัดอุณหภูมิ 2 แถบ โดยติดเทปวัดอุณหภูมิชนิด 60° C ที่ปลายบนสุด และติดเทปวัดอุณหภูมิชนิด 70° C ที่ตำแหน่งต่ำลงมา 2 ซ.ม. จากนั้นทดลองเปลี่ยนอุณหภูมิของออยบาธในช่วง 80° C - 120° C ดังแสดงในตารางที่ 2.1 อนึ่งตารางที่ 2.2 เป็นผลที่ได้จากการที่เทปวัดอุณหภูมิทั้ง 2 แถบเป็น 70° C หมด ก่อนการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2.2 นี้ ได้ทดลองตากแดดฮีทไปป์ไว้ 3 วัน เพื่อดูว่ามีผลกระทบต่อคุณภาพของฮีทไปป์มากน้อยเพียงไร ผลที่ได้ปรากฏว่าเวลาตอบสนองโดยเฉลี่ยนานขึ้นพอสมควร (ดูตารางที่ 2.2) ดังนั้นในกรณีของฮีทไปป์ที่ทำด้วยแก้วซึ่งโปร่งใส การเก็บรักษาฮีทไปป์ควรกระทำในที่ที่ไม่ถูกแดดโดยตรง นอกจากนี้ผลการทดลองชุดนี้ยังชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิของออยบาธที่เหมาะสมควรเป็น 90° C เพื่อให้การจับเวลากระทำได้แม่นยำยิ่งขึ้น และเป็นการเพียงพอที่จะติดเทปวัดอุณหภูมิชนิด 70° C เพียงแถบเดียวที่บริเวณปลายบน

ตารางที่ 2.1

ผลการทดสอบฮีทไปป์ไร้วิกค์ขั้นต้นโดยใช้เทปวัดอุณหภูมิ 60 ° C และ 70 ° C

หมายเลขฮีทไปป์	อุณหภูมิออยบาธ (°C)	เวลาตอบสนองของการทดลองที่ 1 (วินาที) (1)	(2)	อุณหภูมิออยบาธ (°C)	เวลาตอบสนองของการทดลองที่ 2 (วินาที) (1)	(2)
1	90	130	130	100	84	93
2	90	122	106	100	80	80
3	90	122	103	100	85	73
4	90	104	96	100	73	66
5	90	102	89	100	72	72
6	90	105	110	100	80	83
7	90	100	116	100	75	89
8	90	106	131	100	71	100
9	90	108	113	100	77	87
10	90	>240	>240	100	72	>360

(1) ตำแหน่งที่ติดเทปวัดอุณหภูมิชนิด 70 ° C อยู่ห่างจากปลายสุดลงมา 2 ซ.ม.

(2) ตำแหน่งที่ติดเทปวัดอุณหภูมิชนิด 60 ° C อยู่ตรงปลายสุดของแท่งฮีทไปป์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

หมายเลขฮีทไปป์	อุณหภูมิออยบาธ (°C)	เวลาตอบสนองการทดลองที่ 3 (วินาที) (1)	(2)	อุณหภูมิออยบาธ (°C)	เวลาตอบสนองการทดลองที่ 4 (วินาที) (1)	(2)
1	110	65	80	120	26	25
2	110	68	68	120	56	49
3	110	64	60	120	54	48
4	110	60	60	120	52	48
5	110	63	60	120	53	50
6	110	62	68	120	52	60
7	110	61	76	120	54	64
8	110	61	84	120	48	60
9	110	66	76	120	57	61
10	110	84	>240	120	75	168

(1) ตำแหน่งที่ติดเทปวัดอุณหภูมิชนิด 70 ° C อยู่ห่างจากปลายสุดลงมา 2 ซ.ม.

(2) ตำแหน่งที่ติดเทปวัดอุณหภูมิชนิด 60 ° C อยู่ตรงปลายสุดของแท่งฮีทไปป์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2

ผลการทดสอบฮีทไปป์ไร้วิกค์ขั้นต้นโดยใช้เทปวัดอุณหภูมิ 70 ° C

หมายเลขฮีทไปป์	อุณหภูมิออยบาธ (°C)	* เวลาตอบสนองของการทดลองที่ 5 (วินาที) (3)	(4)
1	90	125	136
2	90	112	121
3	90	140	157
4	90	108	112
5	90	110	410
6	90	>480	>480
7	90	>420	>420
8	90	108	>660
9	90	>600	>600
10	90	>420	>420

* การทดลองที่ 5 ทดลองหลังจากที่วางแท่งฮีทไปป์ตากแดดไว้ประมาณ 3 วัน

(3) ตำแหน่งที่ติดเทปวัดอุณหภูมิชนิด 70 ° C อยู่ห่างจากปลายสุดลงมา 2 ซ.ม.

(4) ตำแหน่งที่ติดเทปวัดอุณหภูมิชนิด 70 ° C อยู่ปลายสุดของแท่งฮีทไปป์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.2 การทดสอบสมรรถนะของฮีทไปป์ 1 แท่ง โดยใช้อุปกรณ์ทดสอบในรูป 2.5

การทดสอบสมรรถนะละเอียดทำโดยการป้อนกำลังไฟฟ้าไปที่เส้นลวดทำความร้อนและควบคุมค่าให้คงที่ที่ 13, 20, 40, 80 Watt ตามลำดับ ในขณะที่ควบคุมกระแสน้ำที่ไหลเข้าออกเครื่องระบายความร้อนให้มีค่าคงที่ที่เหมาะสม หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว จึงวัดและบันทึกค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในฮีทไปป์

2.4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะละเอียด

วิธีการวิเคราะห์ผลการทดสอบมีอธิบายอยู่ในหัวข้อ 5.1

รูปที่ 2.6 , 2.8 , และ 2.10 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านท่อฮีทไปป์ Q_{out} และสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนรวม UA ของท่อฮีทไปป์ที่วัดได้ที่เวลาต่าง ๆ ของการทดสอบสำหรับกรณีที่ป้อนกำลังไฟฟ้าในอัตรา 13 , 20 และ 40 วัตต์แก่ลวดความร้อนตามลำดับ ส่วนรูปที่ 2.7 , 2.9 และ 2.11 แสดงค่าอุณหภูมิผิวเฉลี่ยของช่วงการระเหยและช่วงการควบแน่นที่วัดได้ที่เวลาต่าง ๆ กันสำหรับ 3 กรณีข้างต้นตามลำดับ การทดสอบทั้งหมดนี้ทำขึ้นที่มุมวาง 90 องศา จากแนวระดับโดยช่วงการควบแน่นอยู่เหนือช่วงการระเหย

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น เราอาจสรุปประเด็นต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. อัตราการถ่ายเทความร้อน Q_{out} มีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.5 8.5 และ 15.5 วัตต์ เมื่อใส่กำลังไฟฟ้า 13 , 20 และ 40 วัตต์ ตามลำดับ นั่นคือ Q_{out} มีค่าสูงขึ้นเมื่อใส่ความร้อนให้ขดลวดมากขึ้น

2. อุณหภูมิเฉลี่ยของช่วงการระเหยและช่วงการควบแน่นสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ค่อนข้างมากตามเวลา และไม่ยอมเข้าสู่สภาวะคงที่อย่างแท้จริง ถึงแม้เวลาการทดลองจะผ่านไป 20-25 ชั่วโมง สาเหตุที่เป็น

เช่นนั้น มีหลายประการคือ การควบคุมอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นให้คงที่อย่างแม่นยำยังทำได้ลำบากและมีความจำเป็นต้องปรับอัตราการไหลด้วยมืออยู่เป็นระยะ ๆ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น (น้ำประปา) และอุณหภูมิห้องเปลี่ยนแปลงพอสมควรในช่วง 20-25 ชั่วโมง การระเหยของไหลใช้งานเกิดขึ้นในลักษณะต้มเดือด ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ยากที่จะควบคุมให้มีสภาวะคงที่อย่างแท้จริงได้

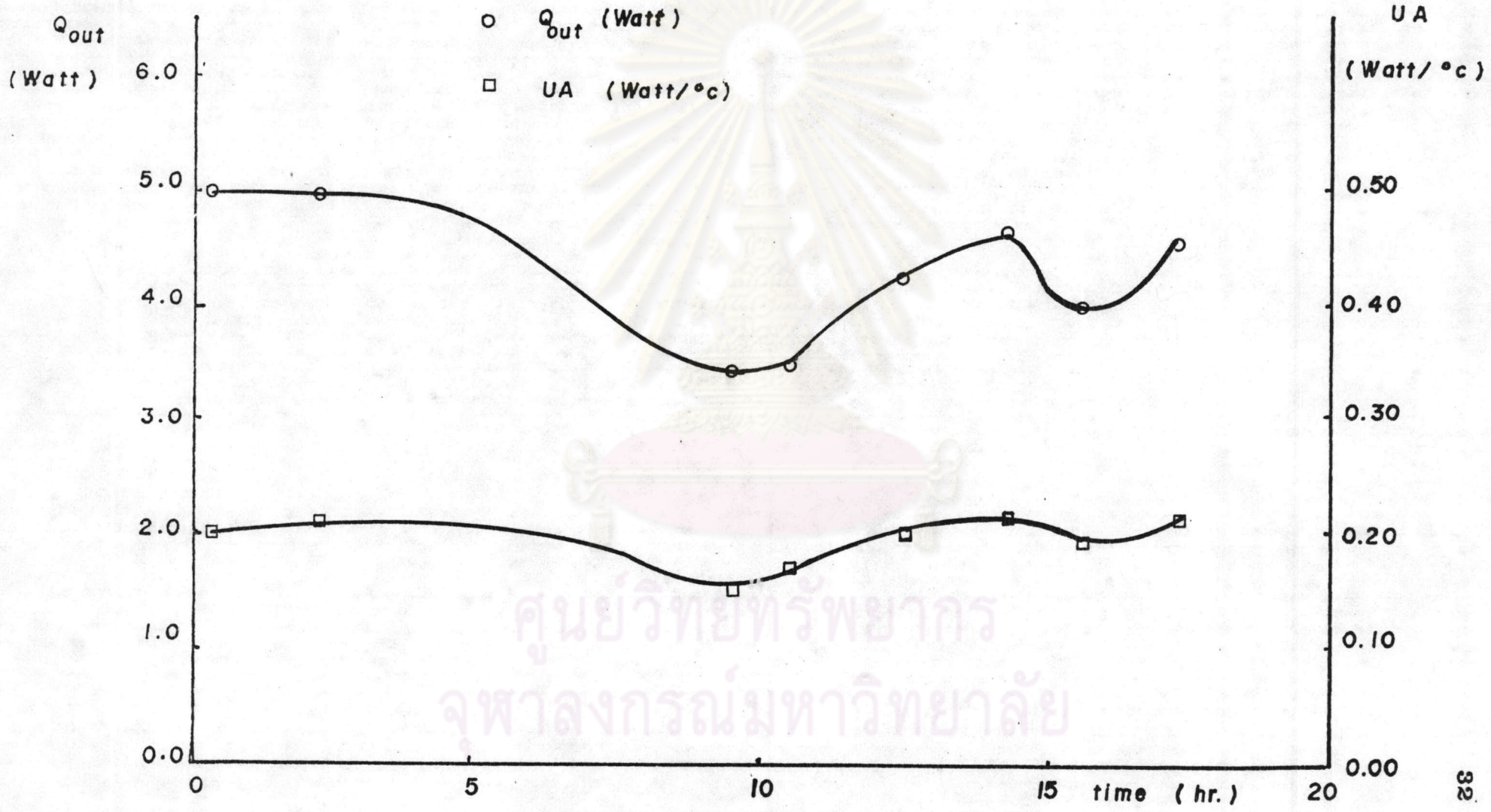
3. ในแง่ของผลต่างอุณหภูมิระหว่างช่วงการระเหยและช่วงการควบแน่น ค่าของผลต่างนี้จะเปลี่ยนแปลงตามเวลาในปริมาณที่น้อยกว่าอุณหภูมิช่วงการระเหยและอุณหภูมิช่วงการควบแน่นอย่างใดอย่างเดียวตามเวลา

4. อุณหภูมิช่วงการระเหย , ช่วงการควบแน่นและผลต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสอง โดยทั่วไปจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อใส่ความร้อนให้แก่ขดลวดเพิ่มขึ้น

5. ในกรณีที่ใส่ความร้อนให้แก่ขดลวดในอัตราสูงเกินกว่า 40 วัตต์ อุณหภูมิของช่วงการระเหยของท่อฮีทไปป์สามารถขึ้นสูงกว่า 100 ° C (จุดเดือดของน้ำที่ความดันบรรยากาศ) ดังนั้นความดันไอน้ำภายในท่อจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ถ้าเพิ่มวัตต์ให้ยิ่งสูงขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกระเบิดของท่อฮีทไปป์แก้ว การทดสอบนี้จึงไม่อาจเพิ่มวัตต์ต่อไปอีกจนพบขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์นี้

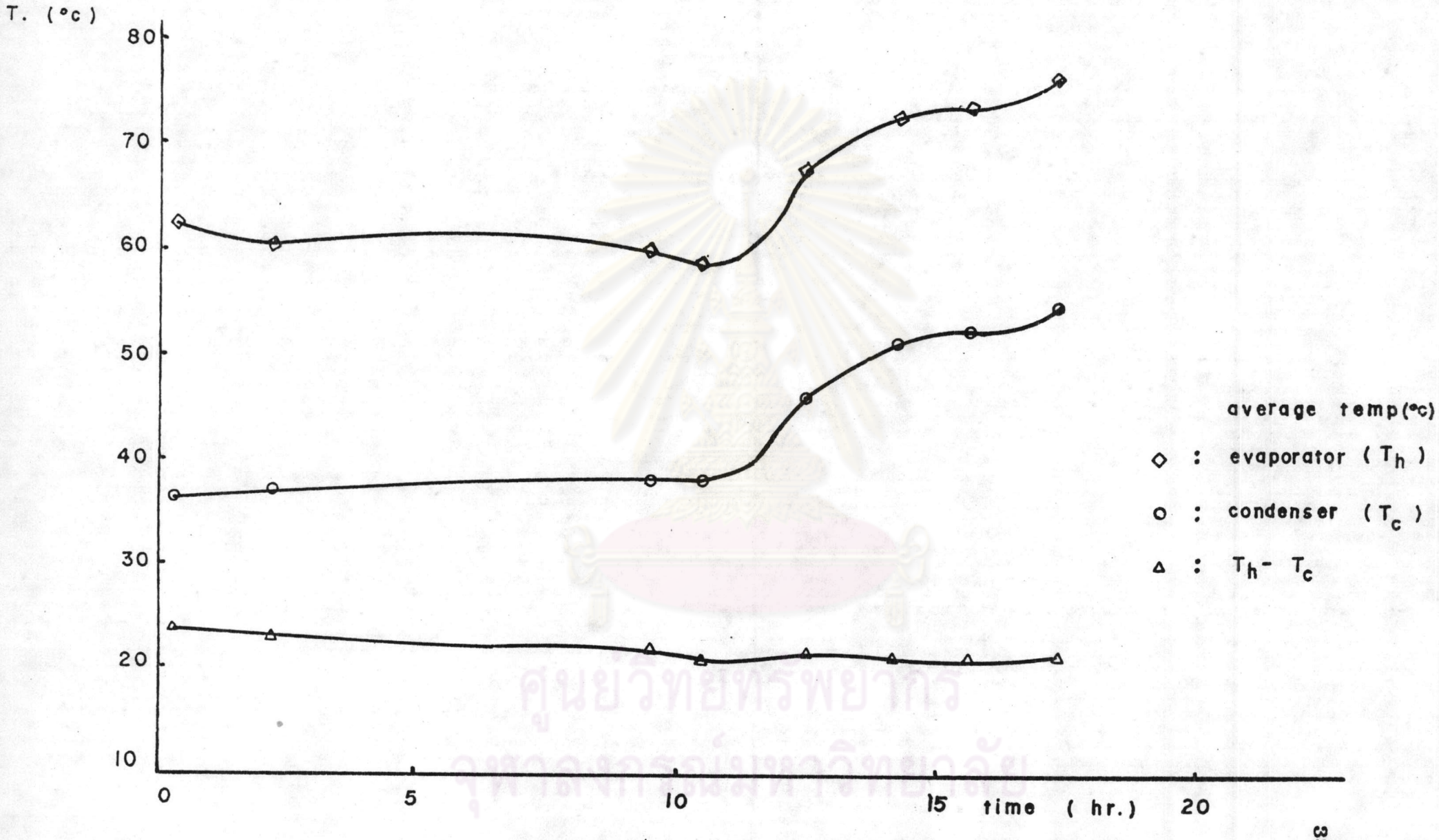
6. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม UA ของฮีทไปป์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดตามเวลาเมื่อเทียบกับกรณีของ Q_{in} อุณหภูมิช่วงการระเหยและช่วงการควบแน่น ดังนั้น การคำนวณออกแบบฮีทไปป์จึงสามารถใช้ค่า UA ดังกล่าวได้อย่างค่อนข้างมั่นใจ

7. ค่า UA จะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ความร้อนให้ขดลวดเพิ่มขึ้น ค่า UA ที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.15-0.4 วัตต์/ ° ซ เหตุที่ค่าของ UA ยังไม่สูงนักก็เพราะความต้านทานการถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่ในการทดสอบนี้จะเนื่องมาจากความต้านทานต่อการเดือด ความต้านทานของฟิล์มผิวนอกของช่วงการควบแน่นและช่วงการระเหย (รวมทั้งการแผ่รังสีความร้อนในช่วงนี้) ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงมากเป็นตัวกำหนดค่าของ UA ที่ได้ ทั้ง ๆ ที่ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของตัวท่อฮีทไปป์มีสูงกว่านี้มาก



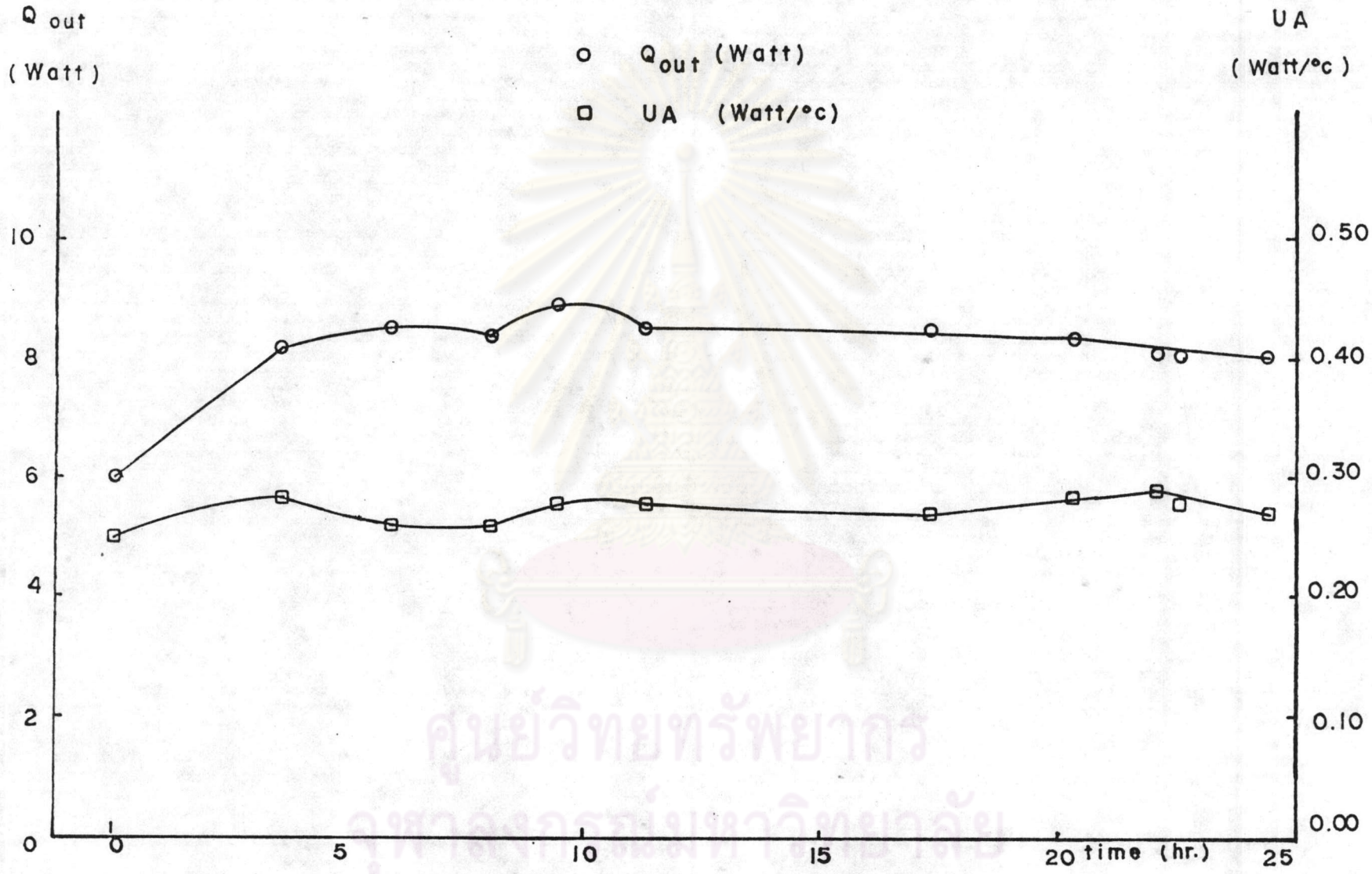
รูป 2.6 อัตราการถ่ายเทความร้อน (Qout)
และ UA กับเวลาเมื่อให้กำลังไฟฟ้า 13 Watt

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



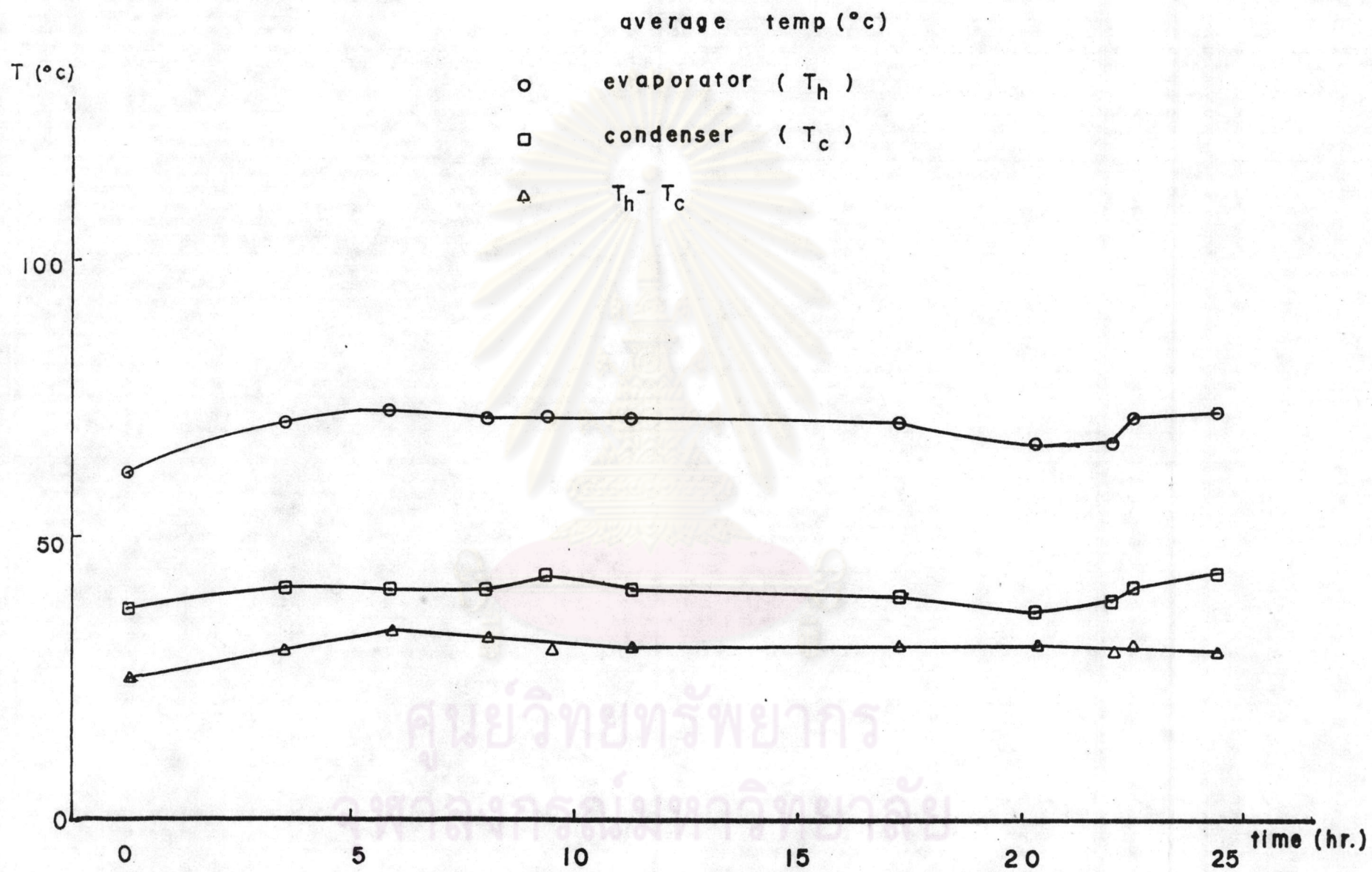
รูป 2.7 อุณหภูมิเฉลี่ย ส่วนระเหย ส่วนกลั่นตัว และผลต่างส่วนระเหย
กับส่วนกลั่นตัวกับเวลา เมื่อให้กำลังไฟฟ้า 13 Watt

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



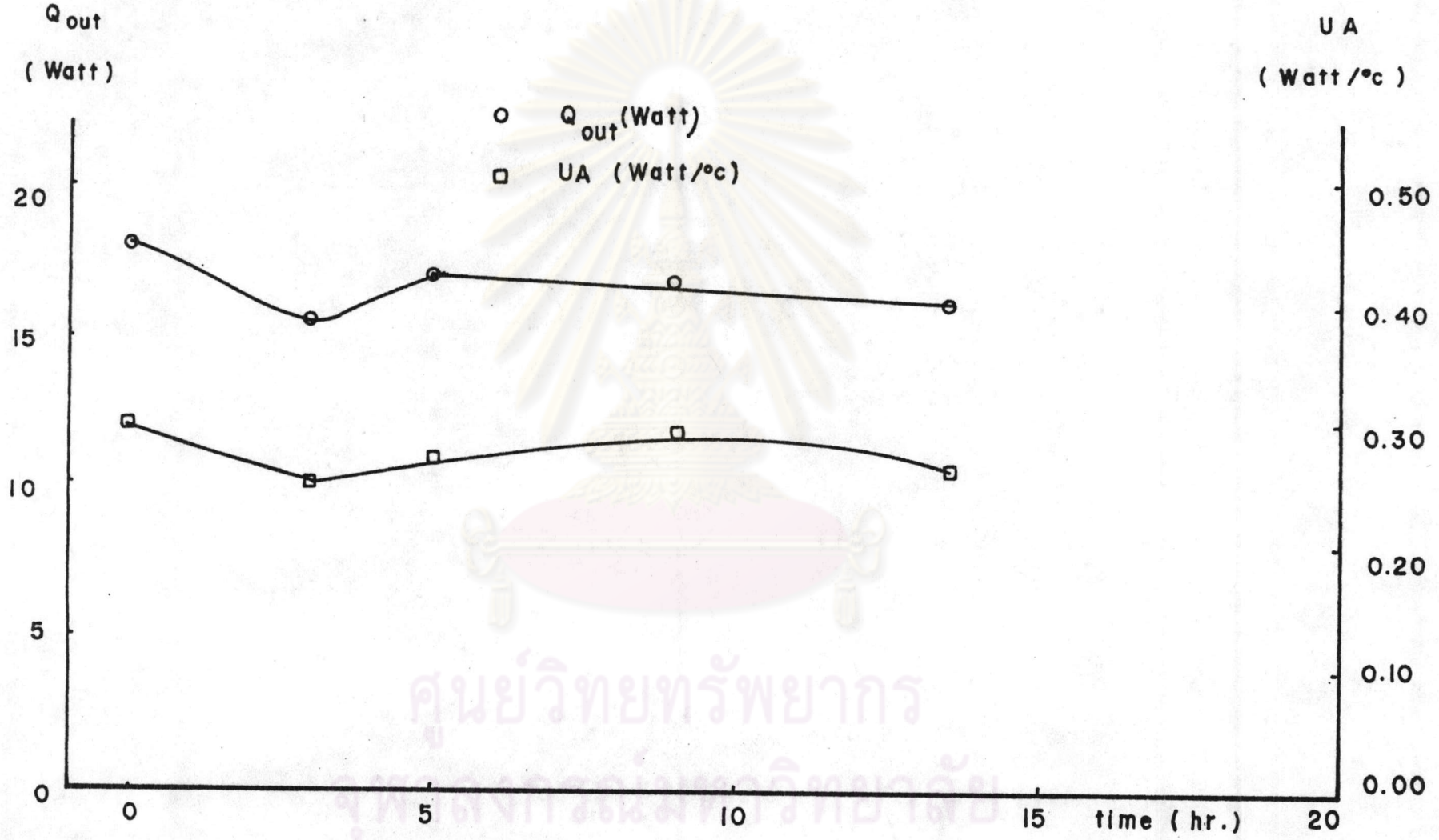
รูป 2.8 อัตราการถ่ายเทความร้อน (Qout)
และ UA กับเวลาเมื่อให้กำลังไฟฟ้า 20 Watt

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



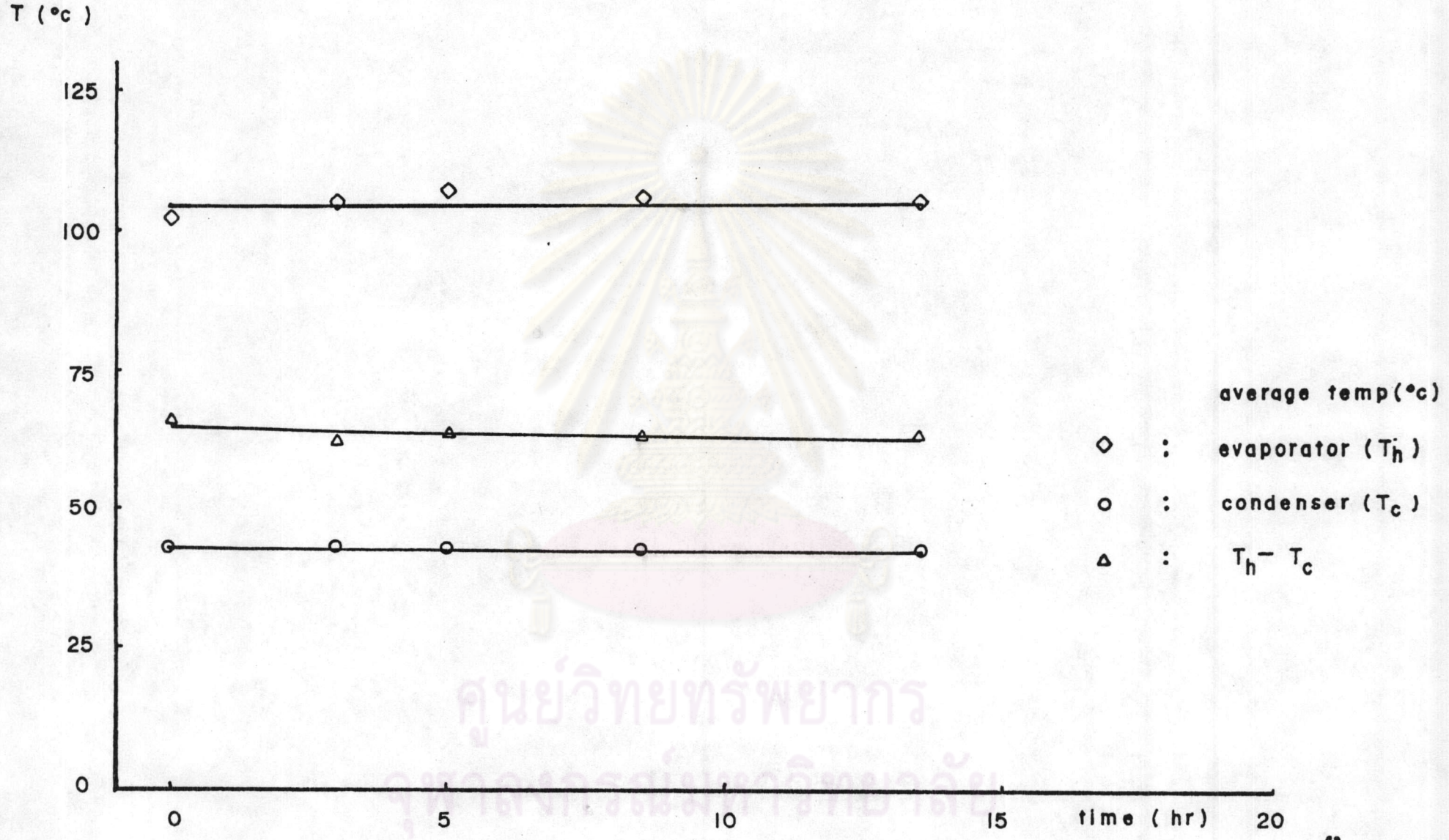
รูป 2.9 อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนระเหย ส่วนกลั่นตัว และผลต่างส่วนระเหย
กับส่วนกลั่นตัวกับเวลา เมื่อให้กำลังไฟฟ้า 20 Watt

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

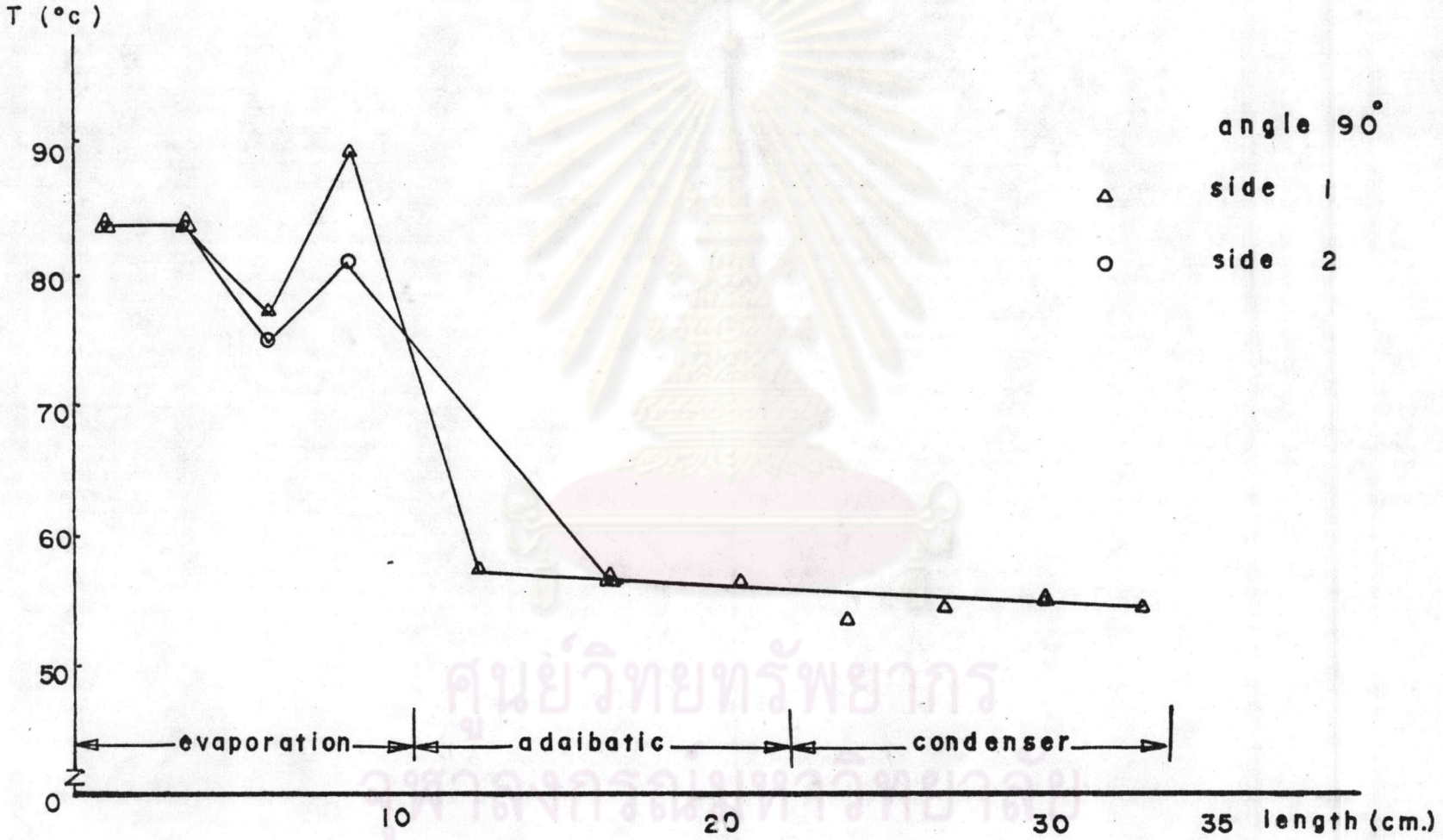


รูป 2.10 อัตราการถ่ายเทความร้อน (Qout)
และ UA กับเวลาเมื่อให้กำลังไฟฟ้า 40 Watt

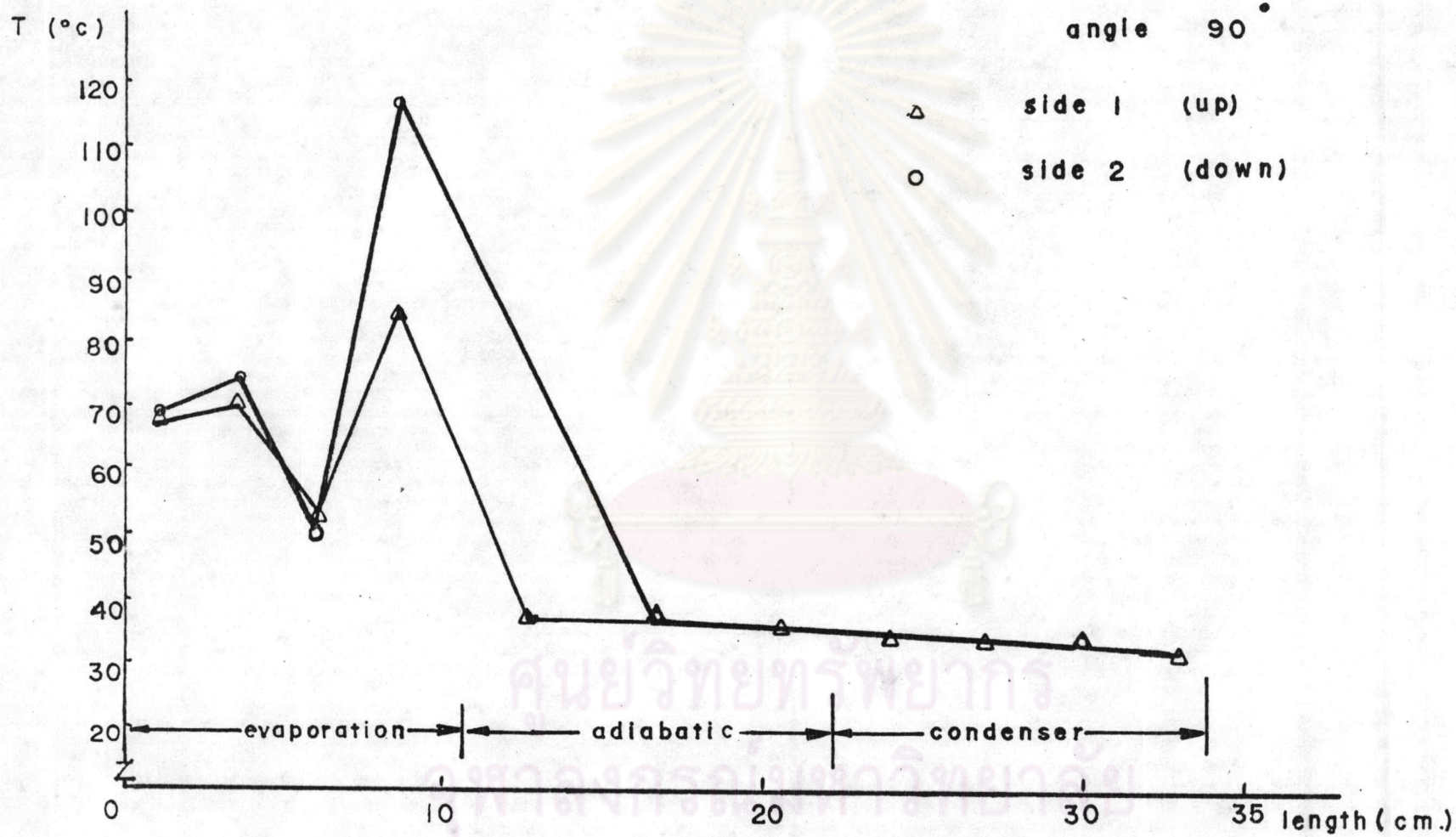
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



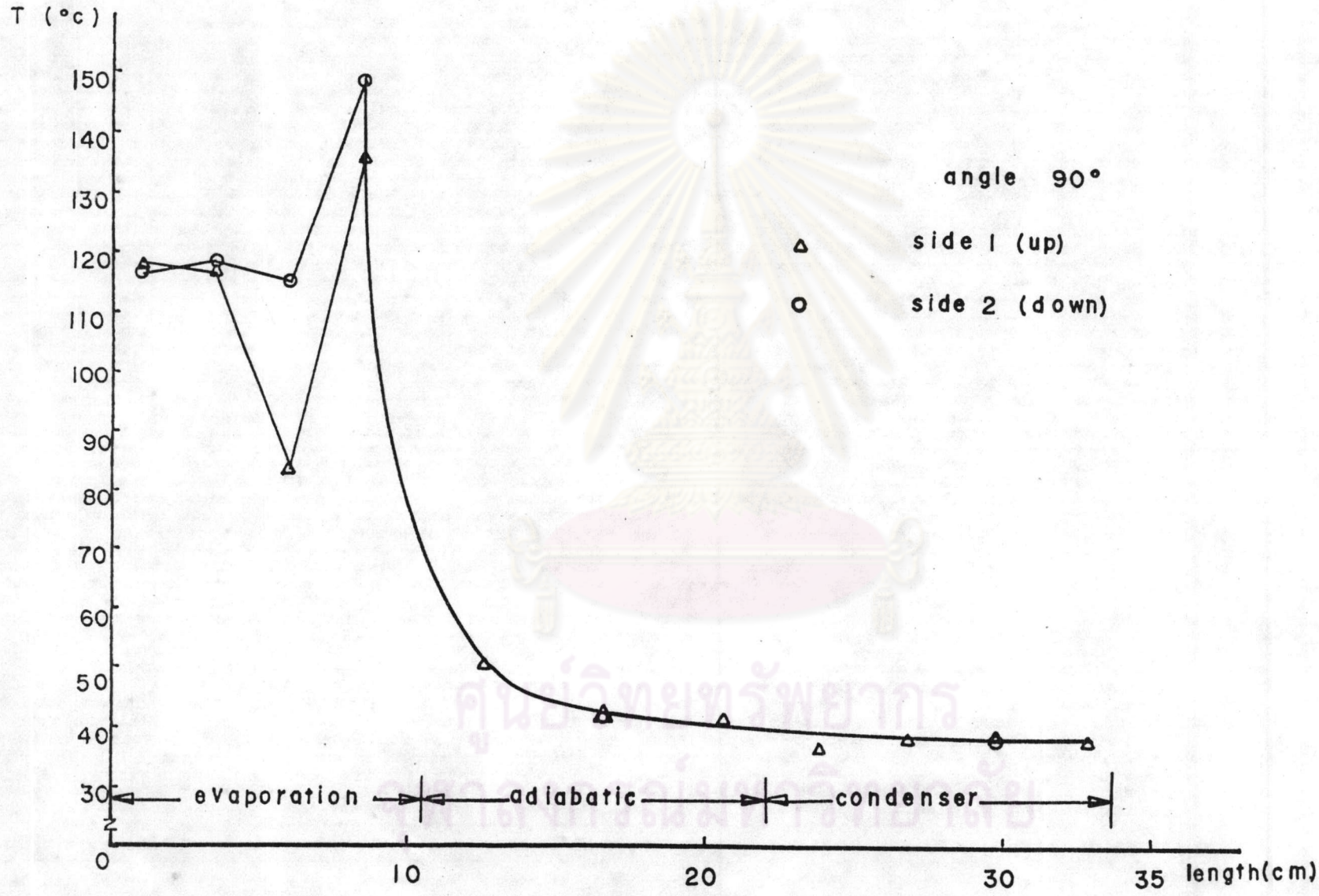
รูป 2.11 อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนระเหย ส่วนกลั่นตัว และผลต่างส่วนระเหย
กับส่วนกลั่นตัวกับเวลา เมื่อให้กำลังไฟฟ้า 40 Watt



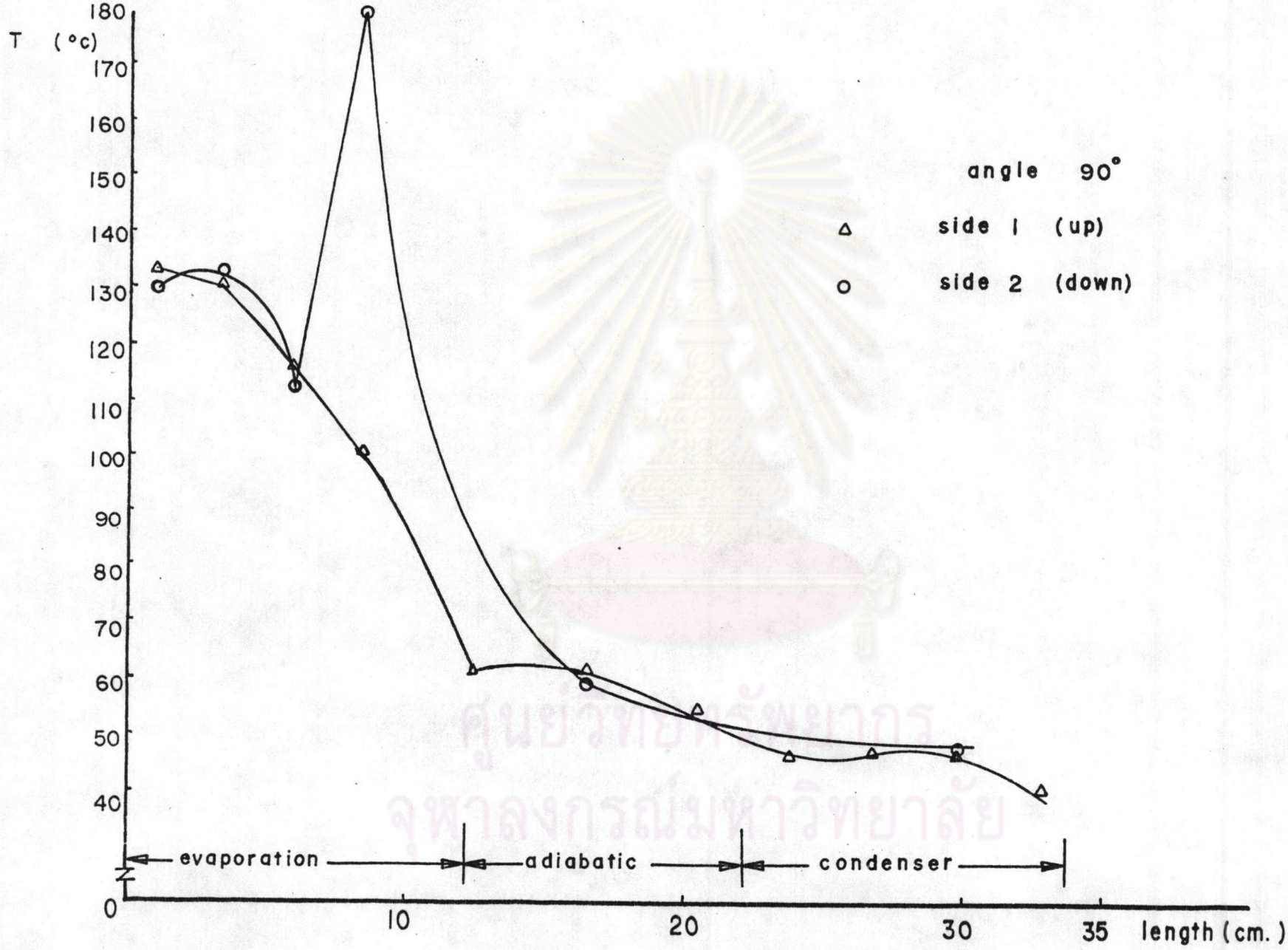
รูป 2.12 การกระจายอุณหภูมิผิวแท่งฮีทไปป์ที่มุมเอียง 90° ให้กำลังไฟฟ้า 13 Watt



รูป 2.13 การกระจายอุณหภูมิผิวแท่งฮีทไปป์ที่มุมเอียง 90° ให้กำลังไฟฟ้า 20 Watt

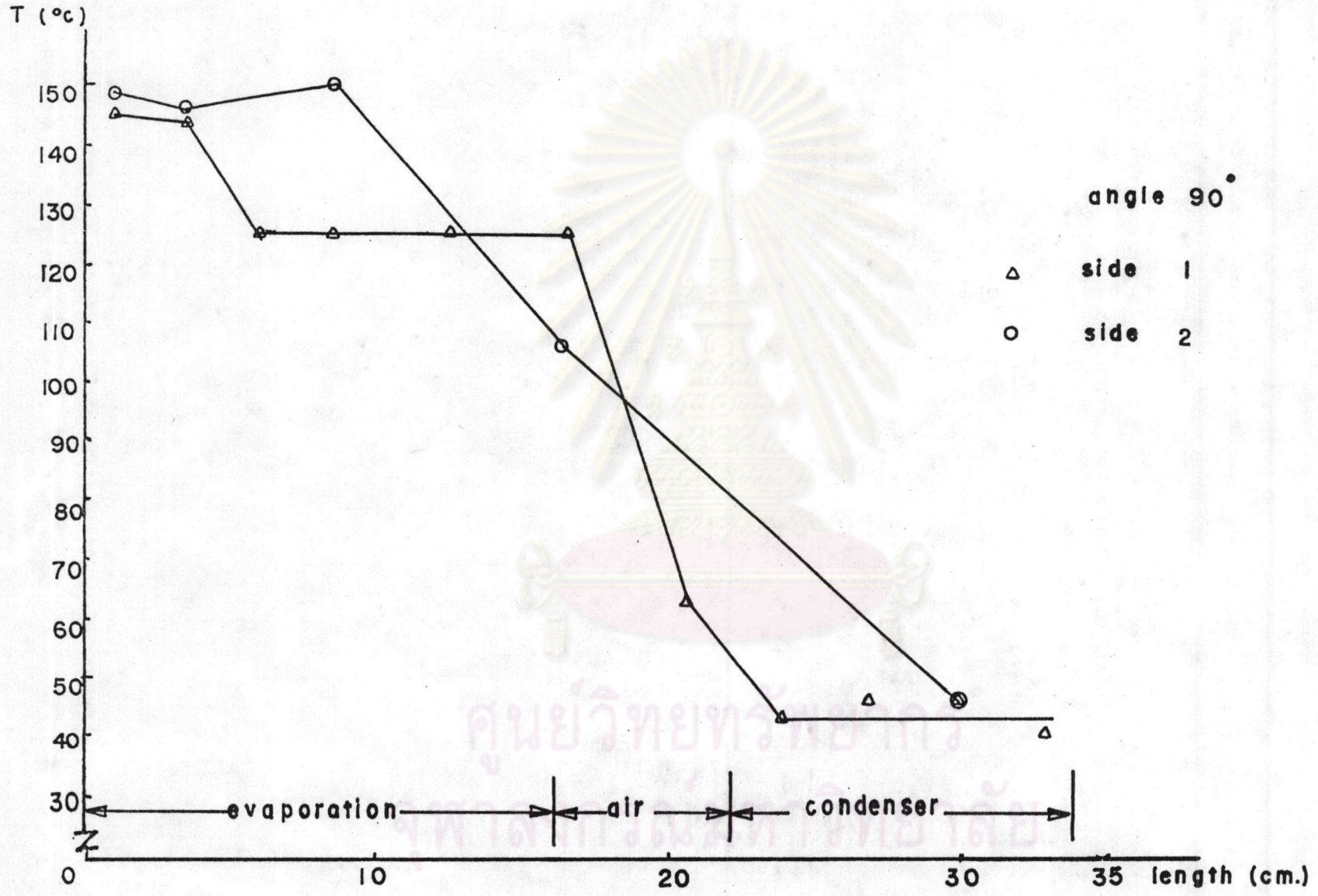


รูป 2.14 การกระจายอุณหภูมิผิวแท่งฮีทไปป์ที่มุมเอียง 90° ให้กำลังไฟฟ้า 40 Watt

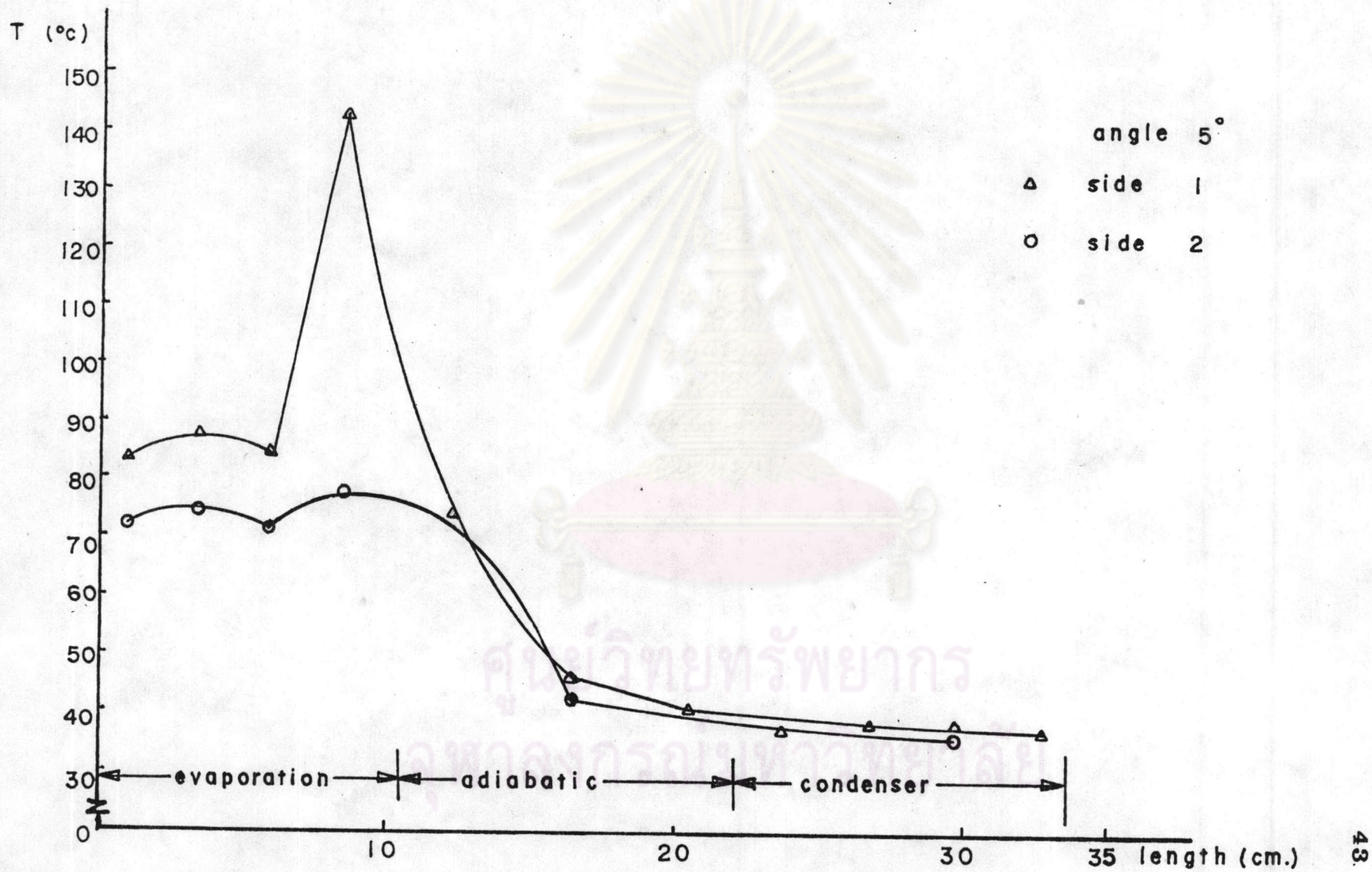


รูป 2.15 การกระจายอุณหภูมิผิวแท่งฮีทไปป์ที่มุมเอียง 90° ให้กำลังไฟฟ้า 80 Watt

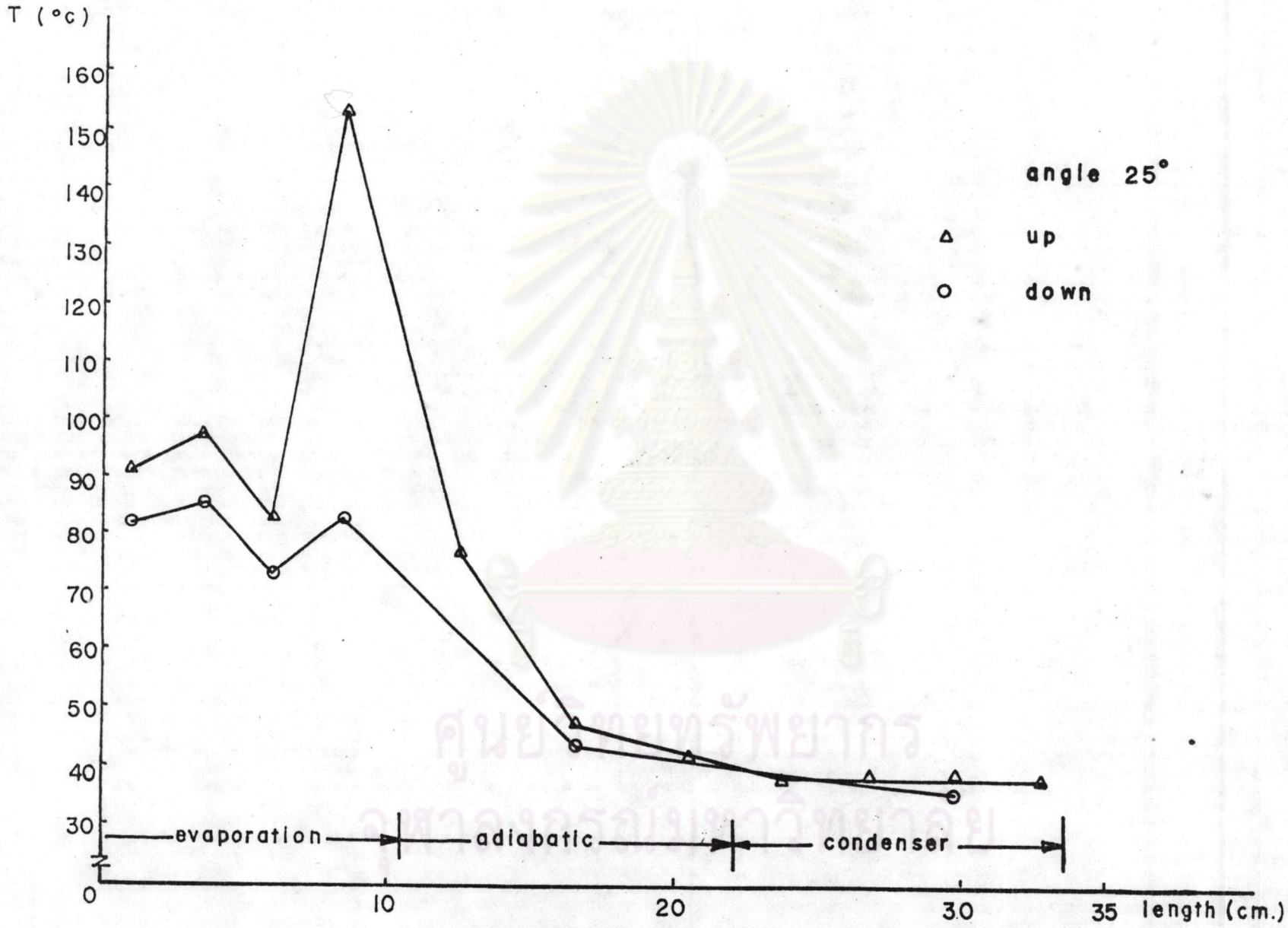
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



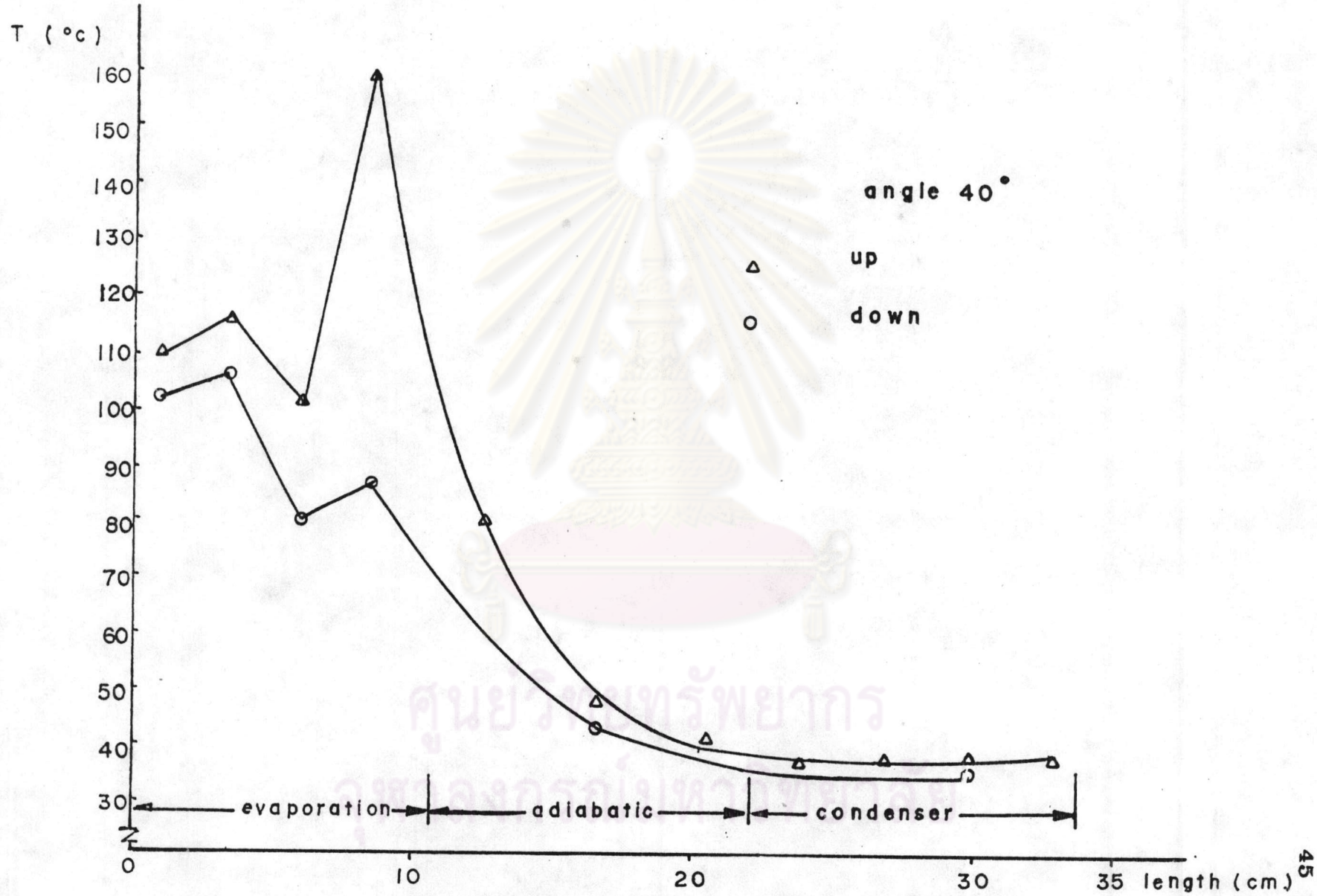
รูป 2.16 การกระจายอุณหภูมิผิวแท่งฮีทไปป์ที่มุมเอียง 90° เมื่อส่วนระเหยอยู่ในน้ำมัน, ที่อุณหภูมิ 150° C ส่วน adiabatic อยู่ในไอน้ำมัน



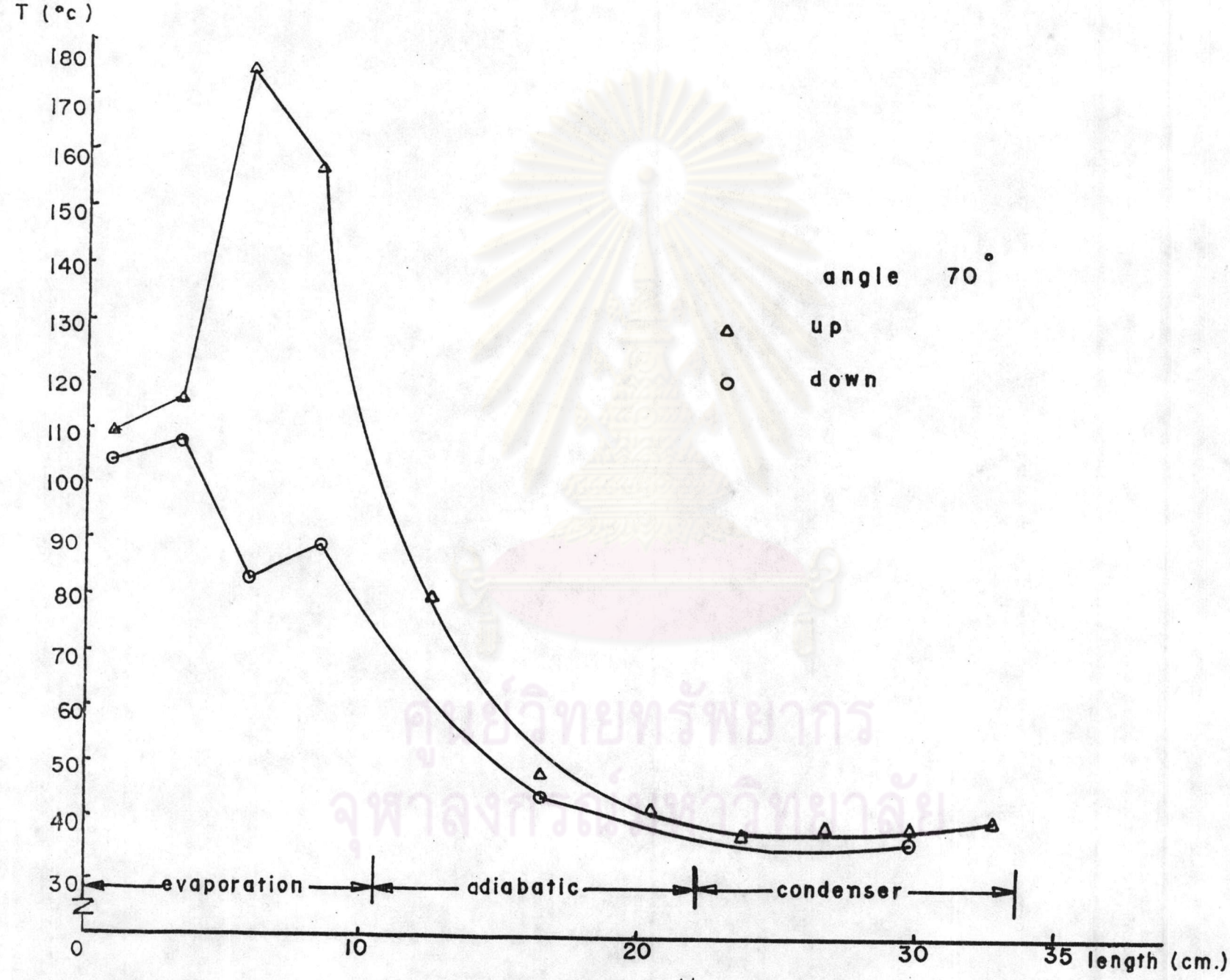
รูป 2.17 การกระจายอุณหภูมิผิวแท่งฮีทไปป์ที่มุมเอียง 5° ให้กำลังไฟฟ้า 40 Watt



รูป 2.18 การกระจายอุณหภูมิผิวแห่งฮีทไปป์ที่มุมเอียง 25° ให้กำลังไฟฟ้า 40 Watt

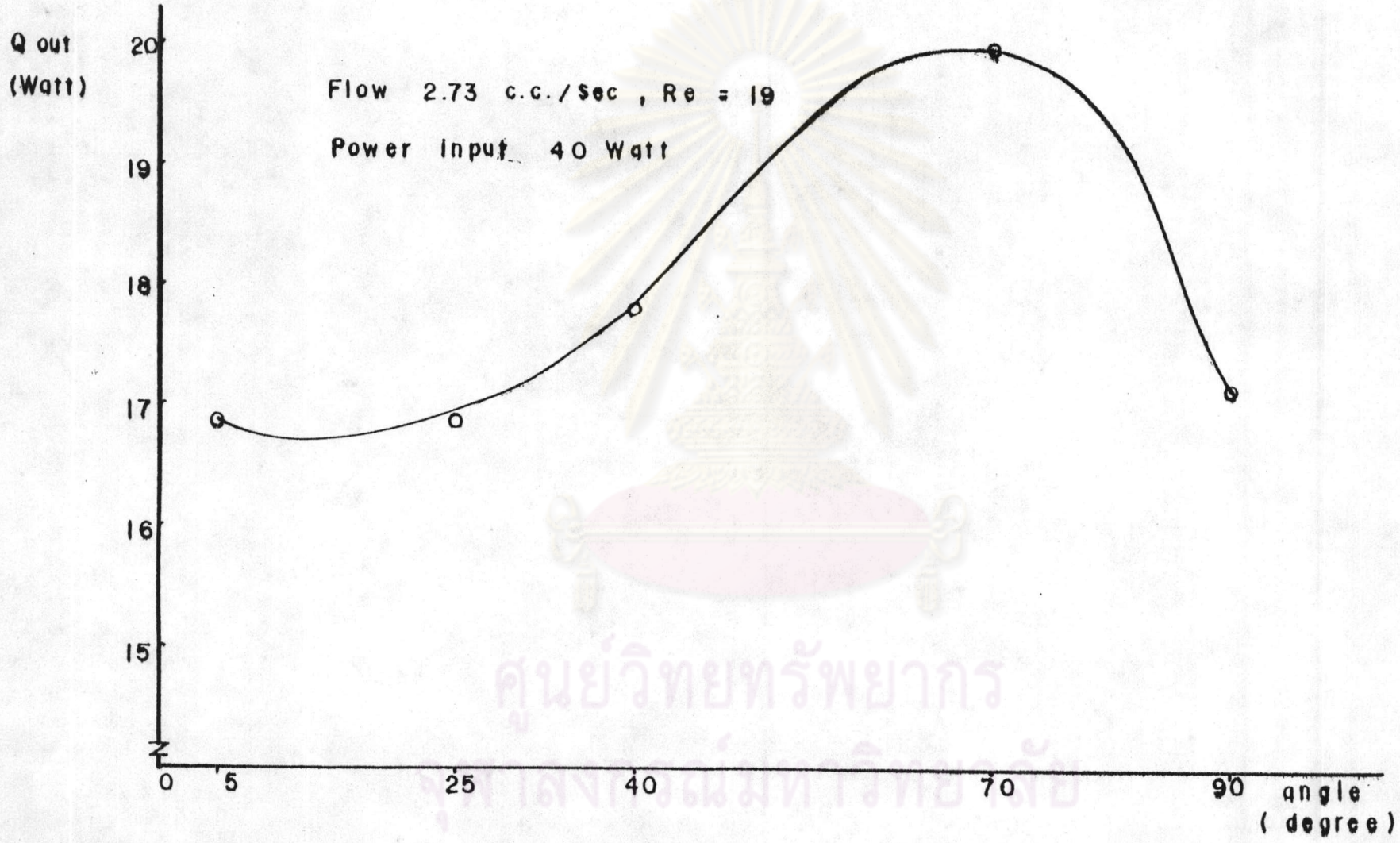


รูป 2.18 การกระจายอุณหภูมิผิวแท่งฮีทไปป์ที่มุมเอียง 40° ให้กำลังไฟฟ้า 40 Watt



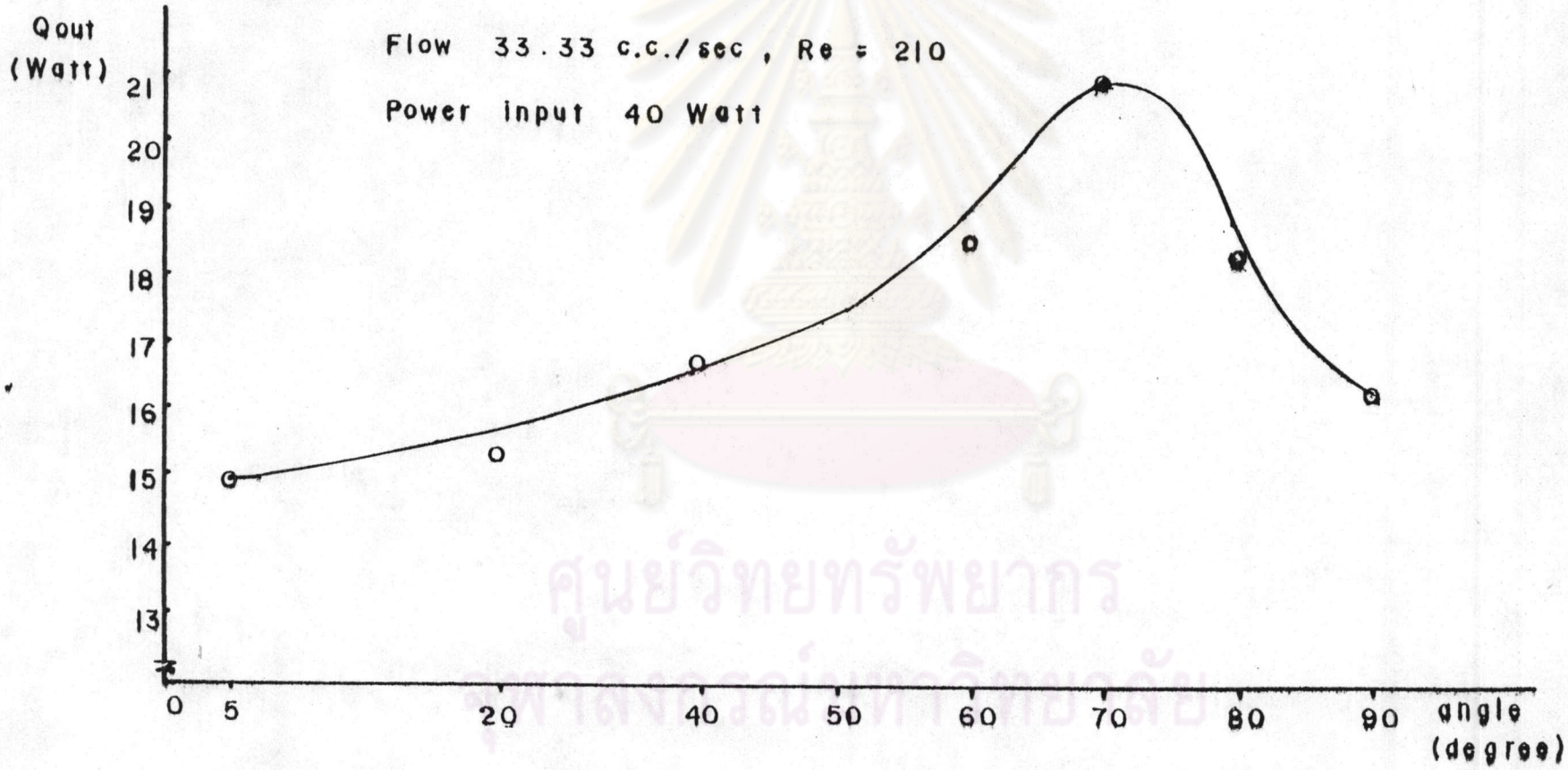
รูป 2.20 การกระจายอุณหภูมิผิวแท่งฮีทไปป์ที่มุมเอียง 70° ให้กำลังไฟฟ้า 40 Watt

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกมากับมุมเอียง
ของแท่งฮีทไปป์ไร้วิกค์ (ชุดที่ 1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกมากับมุมเอียง
ของแท่งฮีทไปป์ไร้วิกค์ (ชุดที่ 2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 การผลิตฮีทไปป์ในจำนวนมากและการคัดเลือกฮีทไปป์

ฮีทไปป์ที่ผลิตขึ้นในงวด (batch) แรกมีจำนวน 70 แท่ง การคัดเลือกนำมาใช้ติดตั้งในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องแรกทำโดยวิธีจับเวลาตอบสนองเมื่อเริ่มจุ่มแท่งฮีทไปป์ลึก 15 ซ.ม. ในออยบาธที่ 125° C ฮีทไปป์ที่ผ่านการคัดครั้งนี้ คือพวกที่มีเวลาตอบสนองไม่เกิน 30 วินาที

การผลิตในงวดต่อมาทำเพื่อนำไปติดตั้งในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้นแบบ จากจำนวนผลิตทั้งหมด 450 แท่ง ปรากฏว่าชำรุดไป 62 แท่ง ดังนั้นจำนวนที่เหลือนำมาทดสอบขั้นต้น คือ 388 แท่ง จากผลการทดสอบได้แบ่งคุณภาพของฮีทไปป์เป็น 10 กลุ่มใหญ่ ตามเวลาตอบสนองที่ใช้ในการเปลี่ยนสีเทปวัดอุณหภูมิชนิด 70° C ดังนี้คือ

ประเภทที่	1	ใช้เวลา 0-1	นาที มี 1	แท่ง
	2	1-1.5	10	
	3	1.5-2	110	
	4	2-2.5	103	
	5	2.5-3	41	
	6	3-3.5	17	
	7	3.5-4	12	
	8	4-5	10	
	9	5-6	11	
	10	6 นาทีขึ้นไป	73	

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าฮีทไปป์ประเภทที่ 10 มีความสามารถในการทำงานต่ำเกินไป นั่นคือเมื่อเทียบอัตราส่วนแล้ว ในจำนวนฮีทไปป์ทั้งหมดที่ทดสอบ 388 แท่งมี 73 แท่ง หรือ 20 % ที่คุณภาพไม่ดีพอ ส่วนที่เหลืออีก 80 % มีคุณภาพดีในระดับต่าง ๆ กันตั้งแต่มากจนพอใช้ อนึ่งถ้าคำนวณจากจำนวนฮีทไปป์ทั้งหมด 450 แท่งที่ทดลองผลิตขึ้นแล้ว จะพบว่าประมาณ 70 % มีคุณภาพที่ยอมรับได้ ส่วนในแง่เวลาที่ใช้ในการผลิตฮีทไปป์นั้น คิดเฉลี่ยแล้วกินเวลาประมาณ 3 คน-ช.ม. /แท่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย