บทที่ 5

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

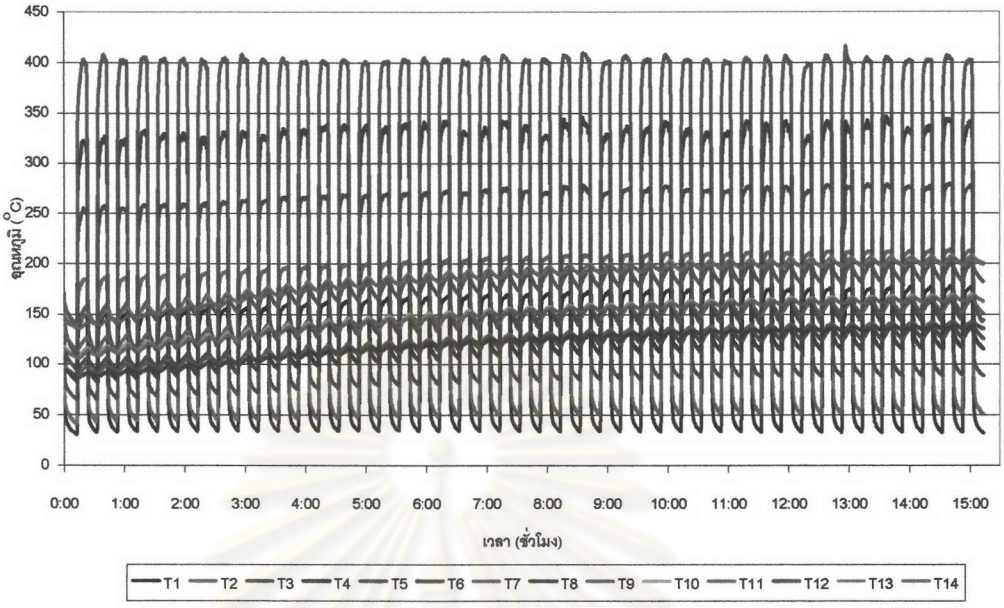
5.1 ผลการทดลอง

ในการศึกษาวิจัย เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเชิงเวลาและวัฏจักรการทำงานที่เหมาะสมของรีเจเนอเรเตอร์แบบโครงอิฐทนไฟ โดยหลักการคือรีเจเนอเรเตอร์จะเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซเสียกับอากาศที่ช่วยในการเผาไหม้ โดยให้ก๊าซเสียจากการเผาไหม้ไหลผ่านรีเจเนอเรอเตอร์เป็นเวลาหนึ่งแล้วจึงสลับให้อากาศที่ช่วยในการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไหลผ่าน ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยโครงอิฐทนไฟทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศที่ช่วยในการเผาไหม้ กับ ก๊าซเสีย หากอากาศที่ช่วยในการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่าใด ก็จะสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้มากเท่านั้น

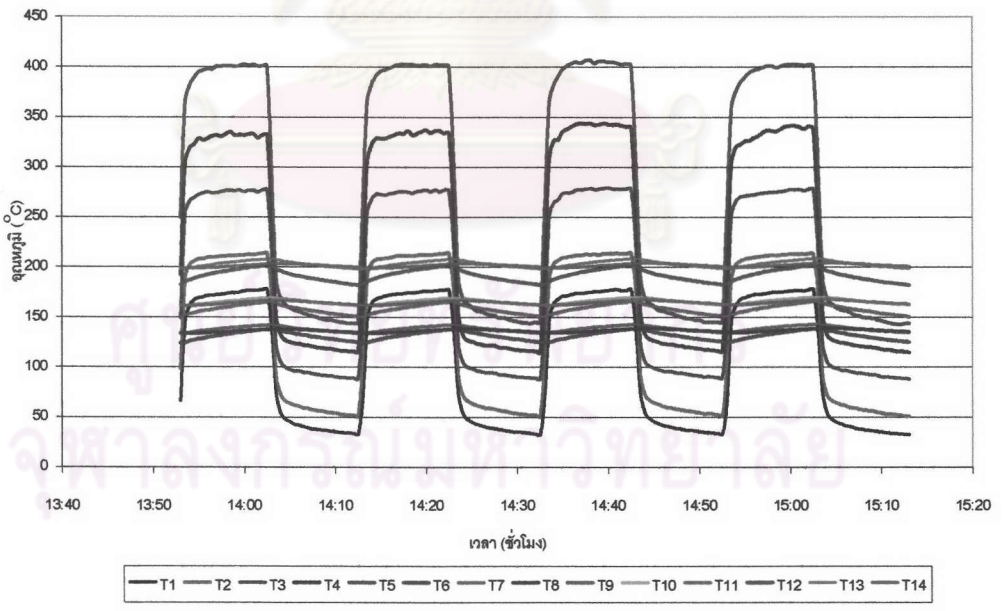
การจะทำให้อากาศที่ช่วยในการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้นมากนั้นก็มีหลายวิธีด้วยกัน วิธีการหนึ่งคือการปรับเวลาที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนของรีเจเนอเรเตอร์เป็นอีกวิธีที่สามารถทำได้ และในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์หาเวลาที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนของรีเจเนอเรเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถนำความร้อนกลับมาใช้ให้ได้มากที่สุด

ในบทนี้ผู้วิจัยจะนำค่าที่ได้จากการทดลองดังแสดงในภาคผนวกมาแสดงเป็นกราฟต่าง ๆ โดยพิจารณาในช่องการไหลที่อยู่ตรงกลางของช่องทั้งหมด 9 ช่อง และทำการทดลองที่เวลาที่ใช้ในวัฏจักรเท่ากับ 10, 20 และ 30 นาที เป็นเวลา 15 ชั่วโมง จากผลจากการทดลองได้นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า Thermal ratio, Heat storage และ Heat recovery ซึ่งสมการหาค่าต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในบทที่ 3

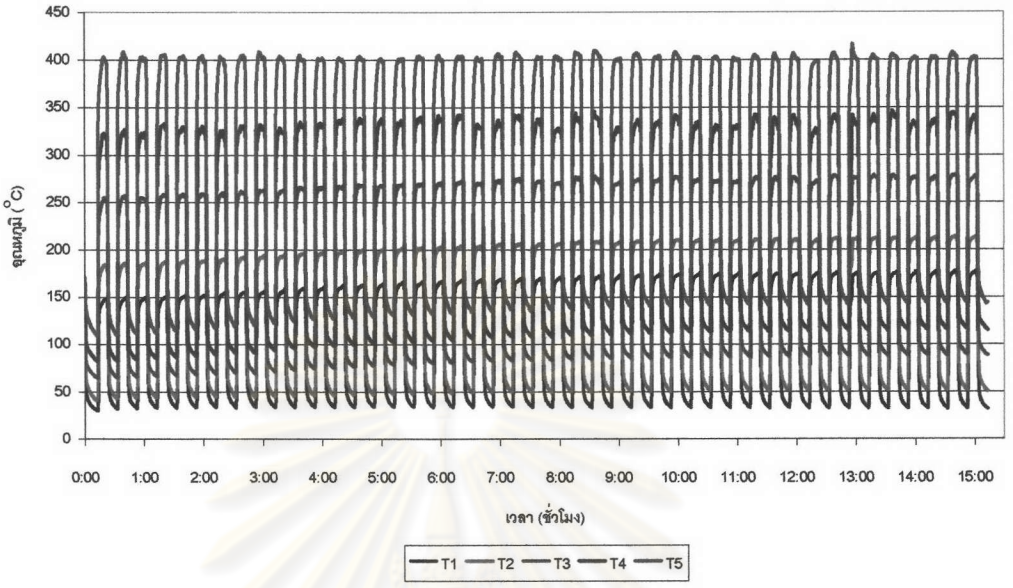
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



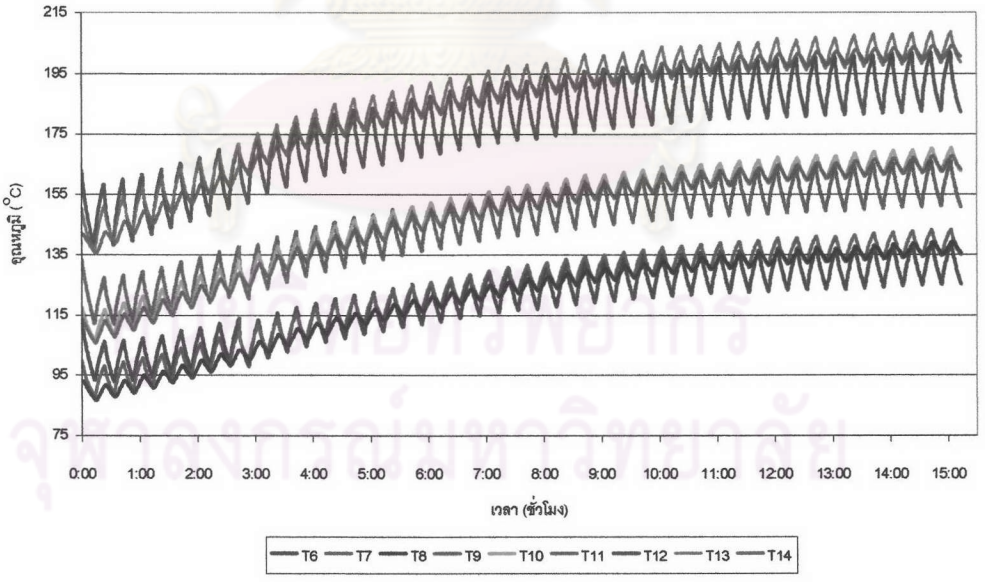
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของของไหลและอิฐทนไฟกับเวลาเมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 10 นาที



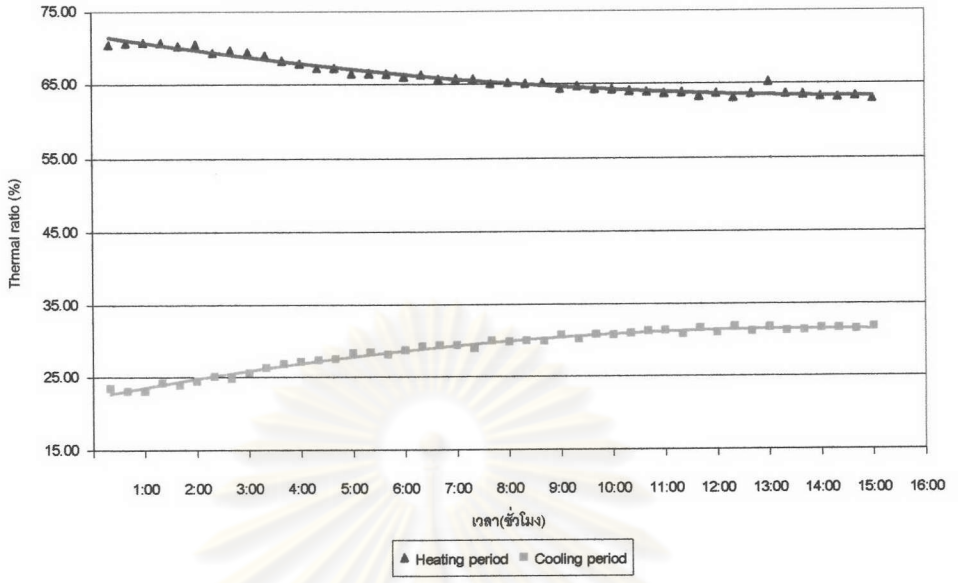
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของของไหลและอิฐทนไฟกับเวลาของวัฏจักรที่ 42 ถึง 45 เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 10 นาที



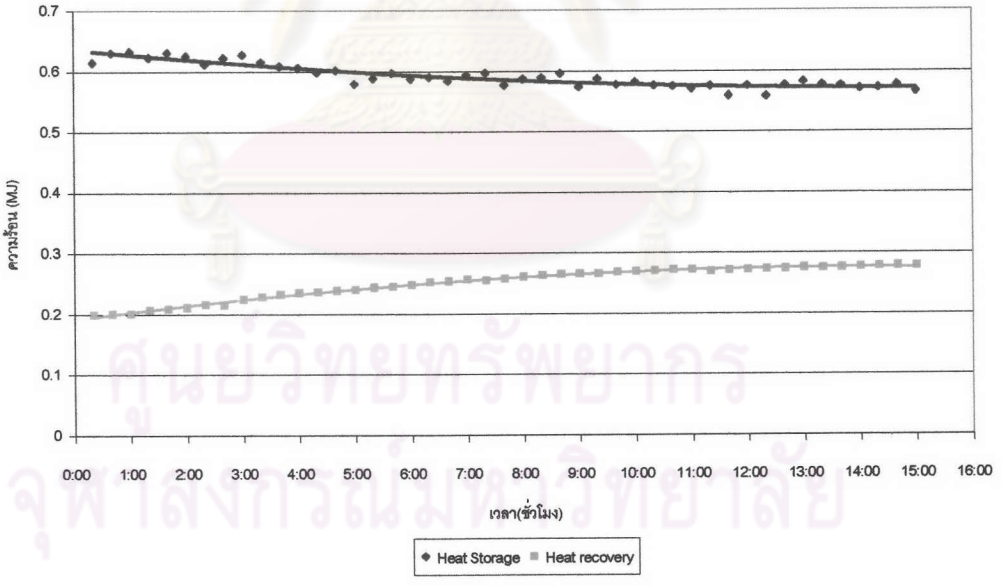
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของของไหลกับเวลาเมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 10 นาที



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอิฐทนไฟกับเวลา เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 10 นาที

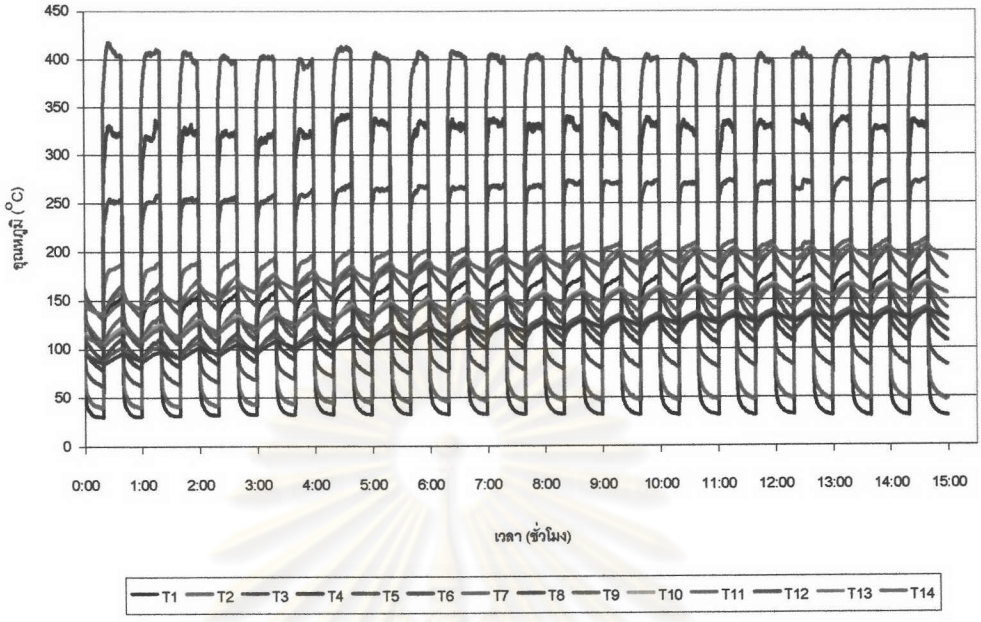


รูปที่ 5.5 แสดง Thermal ratio ของรีเจเนอเรเตอร์ เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 10 นาที

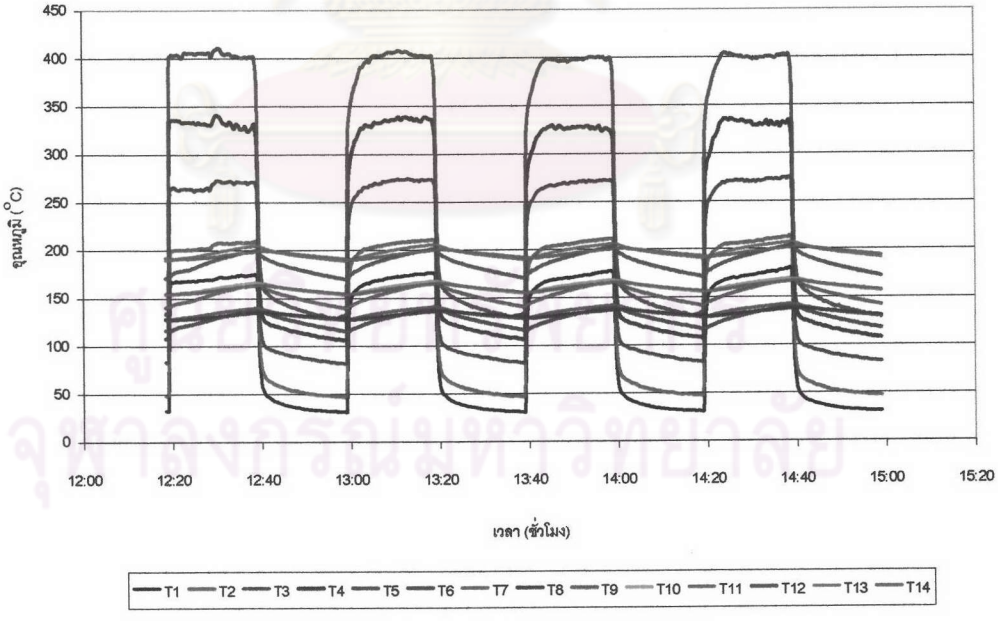


รูปที่ 5.6 แสดงปริมาณ Heat storage และ Heat recovery เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 10 นาที

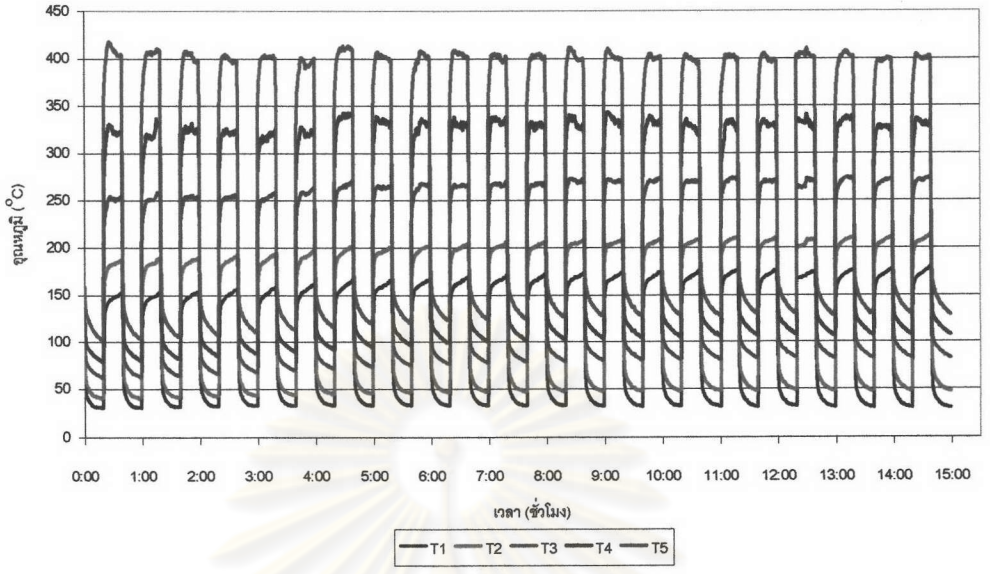
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



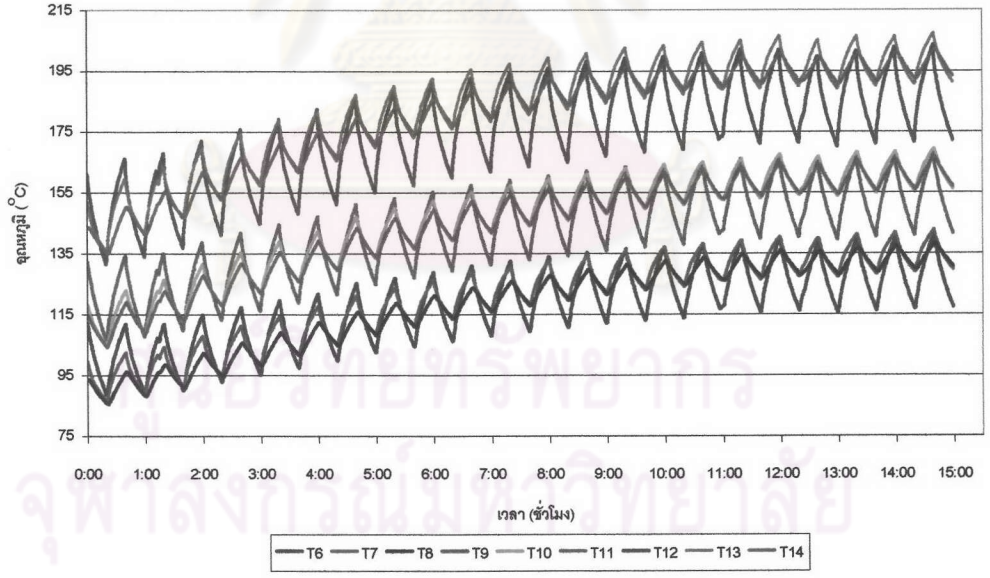
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของของไหลและอิฐทนไฟกับเวลา เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 20 นาที



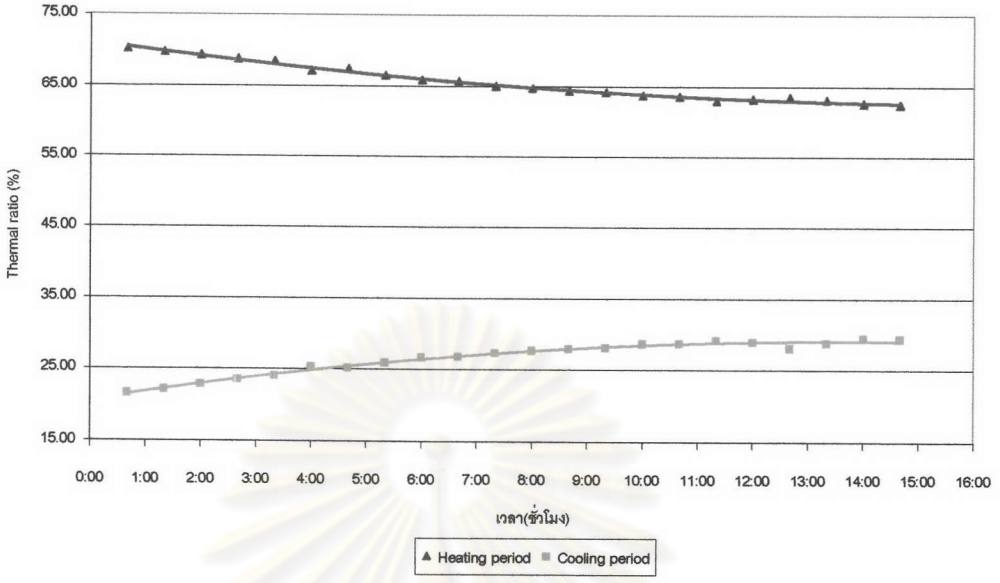
รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของของไหลและอิฐทนไฟกับเวลาของวัฏจักรที่ 19 ถึง 22 เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 20 นาที



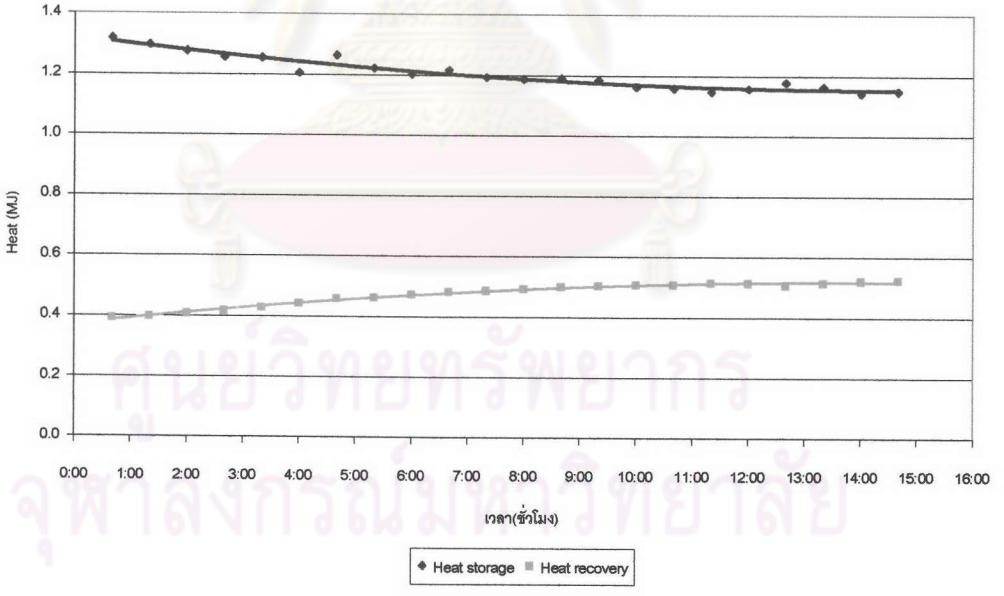
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของของไหลกับเวลา เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 20 นาที



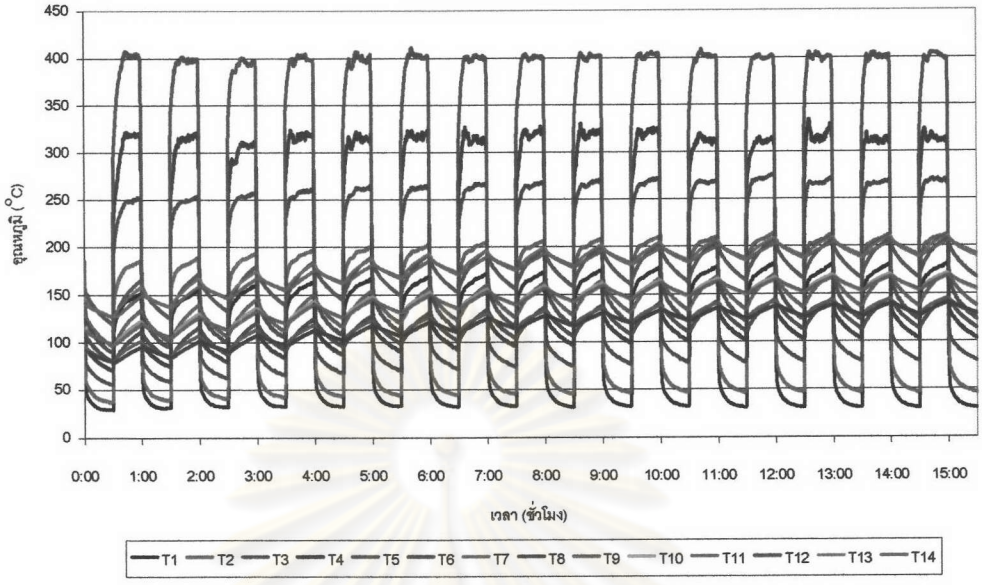
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอิฐทนไฟกับเวลาเมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร(P) เท่ากับ 20 นาที



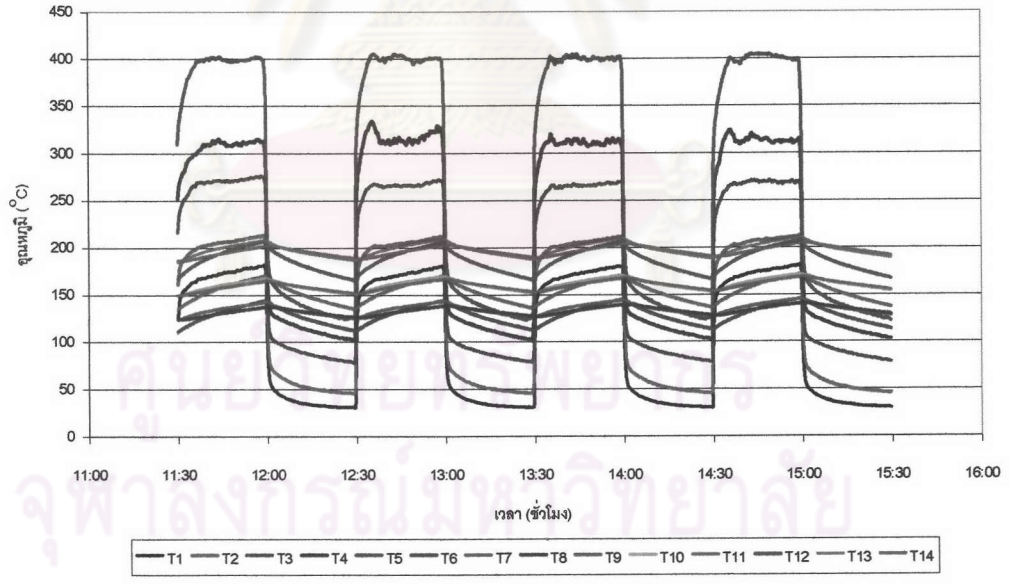
รูปที่ 5.11 แสดง Thermal ratio ของรีเจเนอเรเตอร์ เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 20 นาที



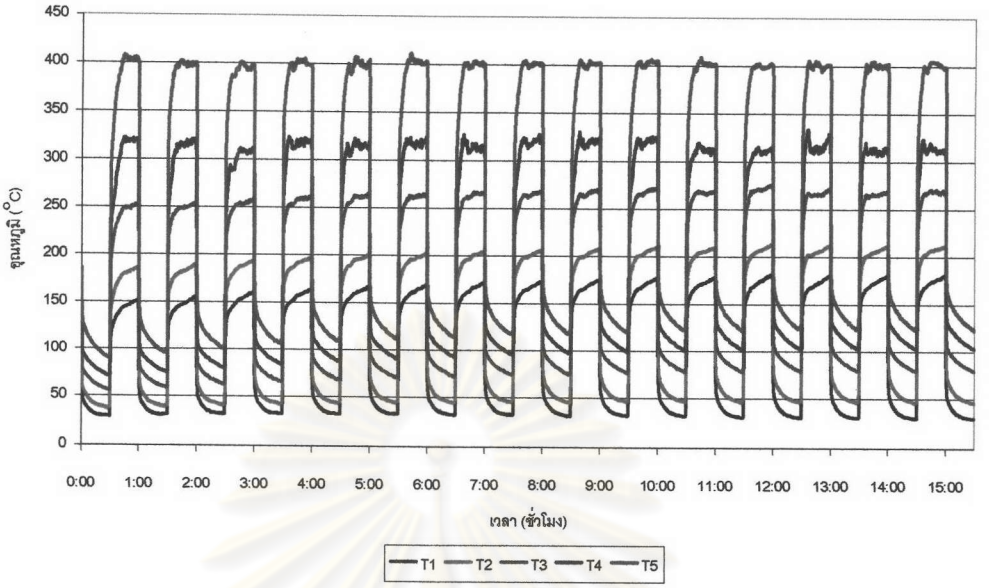
รูปที่ 5.12 แสดง Heat storage และ Heat recovery เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 20 นาที



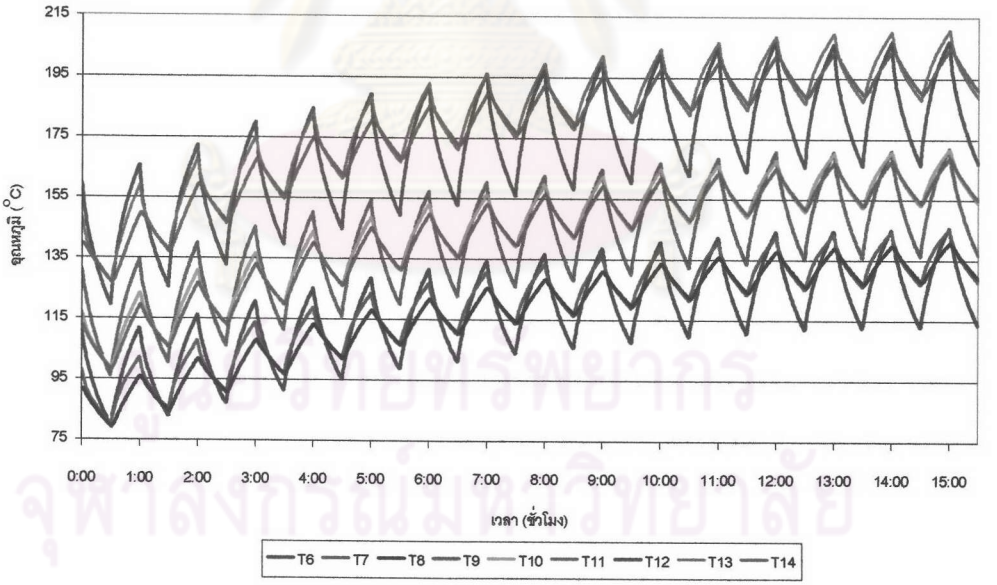
รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของของไหลและอิฐทนไฟกับเวลาที่เวลา เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 30 นาที



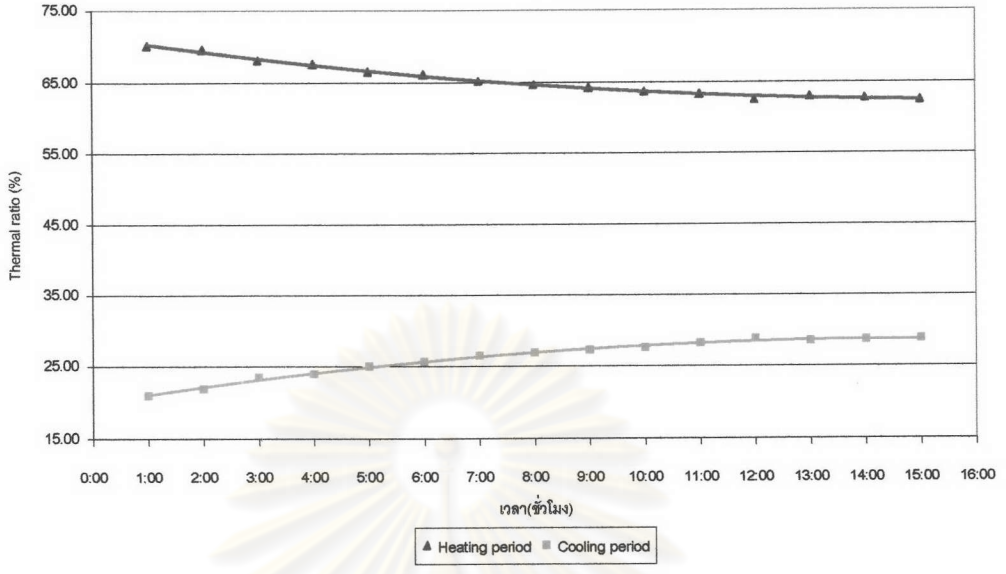
รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของของไหลและอิฐทนไฟกับเวลาที่เวลาของวัฏจักรที่ 12 ถึง 15 เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 30 นาที



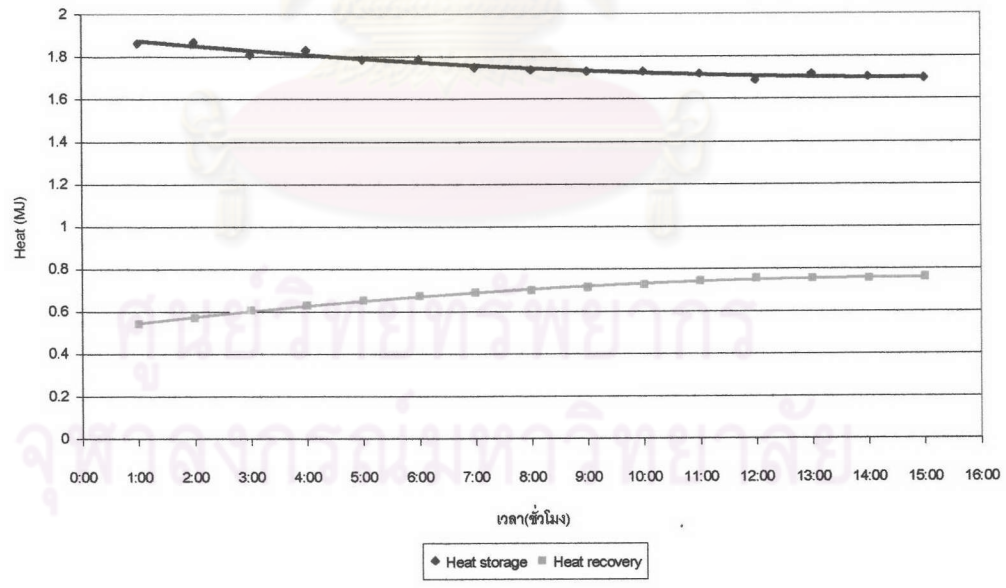
รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของของไหลกับเวลา เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร(P) เท่ากับ 30นาที



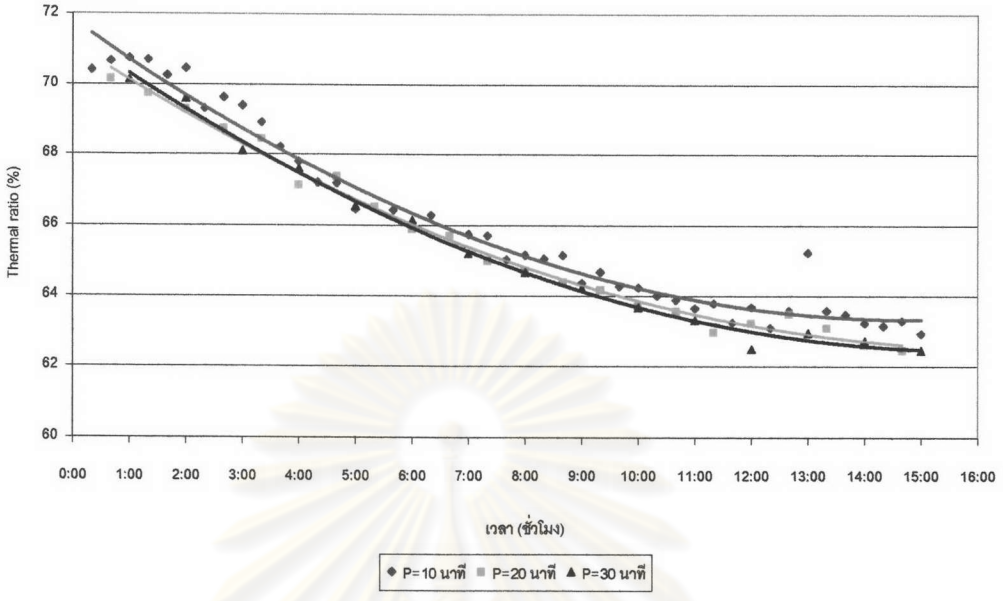
รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอิฐทนไฟกับเวลา เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร(P) เท่ากับ 30นาที



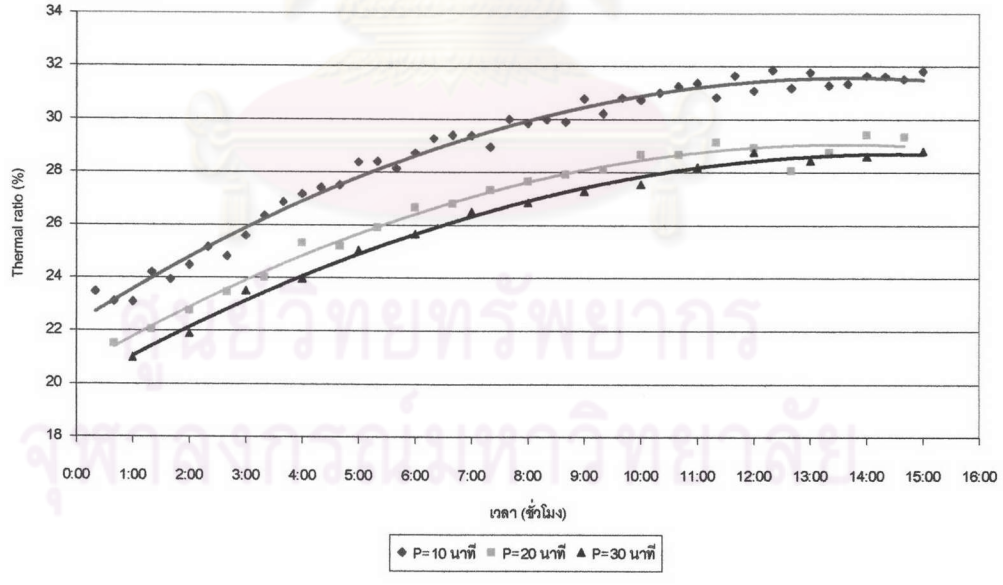
รูปที่ 5.17 แสดง Thermal ratio ของรีเจเนอเรเตอร์ เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 30นาที



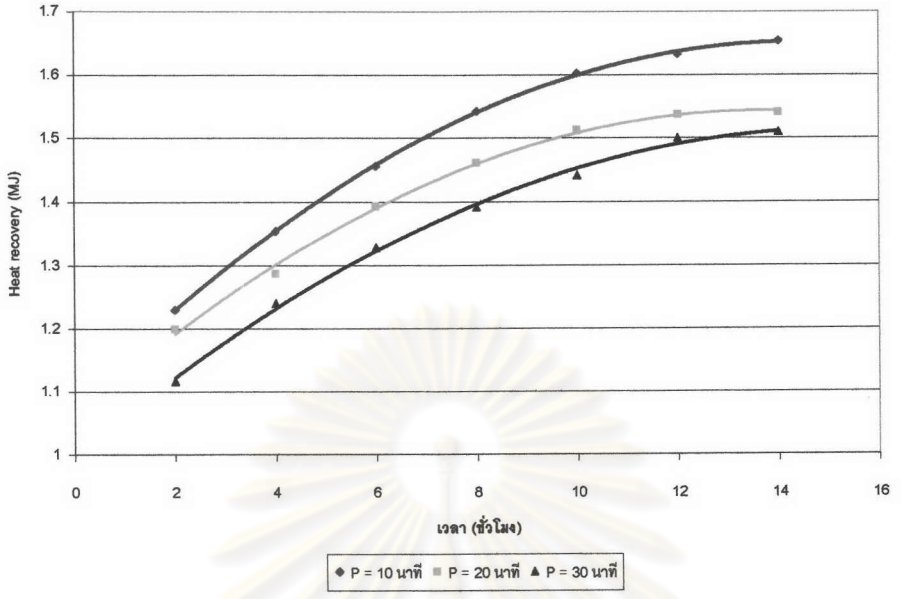
รูปที่ 5.18 แสดง Heat storage และ Heat recovery เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักร (P) เท่ากับ 30นาที



รูปที่ 5.19 แสดง Thermal ratio ของรีเจเนอเรเตอร์ในช่วงสะสมความร้อน



รูปที่ 5.20 แสดง Thermal ratio ของรีเจเนอเรเตอร์ในช่วงคายความร้อน



รูปที่ 5.21 แสดงปริมาณความร้อนในช่วงคายความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลและอิฐทนไฟ

จากรูปที่ 5.1 – 5.4,รูปที่ 5.7 – 5.10 และ รูปที่ 5.13 – 5.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลและอิฐทนไฟที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของรีเจเนอเรเตอร์เทียบกับเวลา ที่เวลาที่ใช้ในวัฏจักรเท่ากับ 10,20 และ 30 นาที ตามลำดับ จากรูปที่ 5.3, รูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.15 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลเทียบกับเวลา จะเห็นได้ว่าในช่วงสะสมความร้อนและคายความร้อน อุณหภูมิของของไหลภายในช่องการไหลจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และจะมีค่าคงที่เมื่อวัฏจักรเข้าสู่ Cyclic Equilibrium การที่อุณหภูมิของของไหลมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากก่อนที่วัฏจักรจะเข้าสู่ Cyclic Equilibrium พลังงานความร้อนที่อิฐทนไฟได้รับจากของไหลร้อนจะมีค่ามากกว่าพลังงานความร้อนที่อิฐทนไฟถ่ายเทให้ของไหลเย็นในวัฏจักรถัดมา พลังงานที่แตกต่างกันนี้อิฐทนไฟจะเก็บสะสมไว้และจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อวัฏจักรเข้าสู่ Cyclic Equilibrium และจากรูปที่ 5.4, รูปที่ 5.10 และรูปที่ 5.16 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอิฐทนไฟเทียบกับเวลา จากกราฟจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอิฐทนไฟจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับอุณหภูมิของของไหล และหากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอิฐทนไฟเฉพาะวัฏจักรใดวัฏจักรหนึ่ง จะเห็นได้ว่าในช่วง Heating period อุณหภูมิของอิฐทนไฟมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นลักษณะโค้งขึ้น โดยในช่วงต้นของคาบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะเร็วกว่าช่วงปลายของคาบ และในช่วง Cooling period อุณหภูมิของอิฐทนไฟมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นลักษณะโค้งลง โดยในช่วงต้นของคาบการลดลงของอุณหภูมิจะเร็วกว่าช่วงปลายของคาบเช่นเดียวกับช่วง Heating period

5.3 การวิเคราะห์ Thermal ratio

จากรูปที่ 5.5, รูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.17 แสดง Thermal ratio ของรีเจเนอเรเตอร์เมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักรเท่ากับ 10,20 และ 30 นาที ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่า Thermal ratio ในช่วงสะสมความร้อนจะมีค่าลดลง แต่ Thermal ratioในช่วงคายความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และ Thermal ratio ของทั้งสองช่วงจะคงที่เมื่อวัฏจักรเข้าสู่ Cyclic Equilibrium การที่ Thermal ratio ของช่วงสะสมความร้อนลดลง แต่ช่วงคายความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากในคาบต้น ๆ ของการทดลองอิฐทนไฟยังสามารถรับพลังงานความร้อนจากของไหลร้อนไว้ได้มาก แต่เมื่อคาบของการทดลองเพิ่มขึ้นความสามารถในการรับพลังงานความร้อนของอิฐทนไฟก็จะลดน้อยลงจึงทำให้ค่า Thermal ratio ในช่วงสะสมความร้อนลดลงด้วย และเมื่ออิฐทนไฟมีพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นก็เป็นเหตุให้สามารถถ่ายเทพลังงานความร้อนให้ของไหลเย็นได้มากขึ้นทำให้ Thermal ratio ในช่วงคายความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อคาบการทดลองเพิ่มขึ้น และการที่ค่า Thermal ratio ในช่วง Heating period มีค่าสูงกว่าในช่วง Cooling period เนื่องจากประการแรกเกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากตัวฮีทเตอร์มายังตัวเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัด

อุณหภูมิของไหลร้อนในตำแหน่งทางเข้าของชุดทดลองทำให้ค่าอุณหภูมิที่เทอร์โมคัปเปิ้ลอ่านมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอุณหภูมิจริงของของไหลร้อน ประการที่สองเกิดจากความร้อนที่สูญเสียออกทางด้านข้างของตัวรีเจเนอเรเตอร์ และประการสุดท้ายเกิดจากการทดลองที่ยังไม่เข้าสู่ Cyclic Equilibrium

5.4 การวิเคราะห์ Heat storage และ Heat recovery

จากรูปที่ 5.6, รูปที่ 5.12 และ รูปที่ 5.18 แสดงปริมาณ Heat storage และ Heat recovery ของ 1 ช่องการไหลในรีเจเนอเรเตอร์ที่ทำการทดลองเมื่อเวลาที่ใช้ในวัฏจักรเท่ากับ 10, 20 และ 30 นาที ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่าพลังงานความร้อนที่ของไหลร้อนสามารถถ่ายเทให้อิฐทนไฟในช่วงสะสมความร้อนจะมีค่าลดลง แต่พลังงานความร้อนที่ของไหลเย็นได้รับจากอิฐทนไฟจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นและจะมีค่าคงที่เมื่อวัฏจักรเข้าสู่ Cyclic Equilibrium การที่พลังงานความร้อนที่ของไหลถ่ายเทให้อิฐทนไฟมีค่าลดลงนั้น เนื่องมาจากในช่วงแรกของการทดลองอิฐทนไฟจะไม่สามารถถ่ายเทพลังงานความร้อนที่ได้รับจากของไหลร้อนในวัฏจักรก่อนหน้าให้กับของไหลเย็นได้หมด โดยอิฐทนไฟจะเก็บสะสมไว้ส่วนหนึ่งและจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อวัฏจักรเข้าสู่ Cyclic Equilibrium เป็นเหตุให้ความสามารถในการรับพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทจากของไหลร้อนลดลง และการที่พลังงานความร้อนที่ของไหลเย็นได้รับจากอิฐทนไฟมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากเมื่ออิฐทนไฟมีพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่เพิ่มขึ้นจึงทำให้สามารถที่จะถ่ายเทให้กับของไหลเย็นได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน และจากกราฟจะเห็นว่าค่า Heat storage มีค่าสูงกว่าค่า Heat recovery เนื่องจากเหตุผลเดียวกับความแตกต่างของค่า Thermal ratio คือ เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนของตัวฮีทเตอร์ จากความร้อนสูญเสีย และจากวัฏจักรยังไม่เข้าสู่ Cyclic Equilibrium

5.5 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบ Thermal ratio

จากรูปที่ 5.19 แสดงการเปรียบเทียบ Thermal ratio ในช่วงสะสมความร้อนที่เวลาที่ใช้ในวัฏจักรเท่ากับ 10, 20 และ 30 นาที จากกราฟจะเห็นได้ว่าวัฏจักรที่ใช้เวลาในการสลับเท่ากับ 10 นาที ค่า Thermal ratio จะมีแนวโน้มที่สูงกว่าวัฏจักรที่ใช้เวลาในการสลับเท่ากับ 20 และค่า Thermal ratio ของเวลาที่ใช้ในวัฏจักรเท่ากับ 20 นาที ค่า Thermal ratio มีแนวโน้มที่สูงกว่าวัฏจักรที่ใช้เวลาในการสลับเท่ากับ 30 นาที

จากรูปที่ 5.20 แสดงการเปรียบเทียบ Thermal ratio ในช่วงคายความร้อนที่เวลาที่ใช้ในวัฏจักรเท่ากับ 10, 20 และ 30 นาที จากกราฟจะเห็นได้ว่าวัฏจักรที่ใช้เวลาในการสลับเท่ากับ 10 นาที มีแนวโน้มที่ค่า Thermal ratio จะมีค่าสูงกว่าวัฏจักรที่ใช้เวลาในการสลับเท่ากับ 20 และ 30 นาที เช่นเดียวกันกับ Thermal ratio ในช่วงสะสมความร้อน จึงสามารถสรุปได้ว่าหากเวลาที่ใช้ในวัฏจักรมีค่าน้อยลงจะทำให้ค่า Thermal ratio ของช่วงสะสมความร้อนและคายความร้อนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น

5.6 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบ Heat recovery

จากรูปที่ 5.21 แสดงปริมาณความร้อนที่ของไหลเย็นได้รับจากอิฐทนไฟที่เวลาที่ใช้ในวัฏจักรเท่ากับ 10, 20 และ 30 นาที จากกราฟจะเห็นได้ว่าความร้อนที่อิฐทนไฟถ่ายเทให้ของไหลเย็นในช่วงเริ่มต้นของการทดลองจะมีค่าต่ำ เนื่องจากในตอนเริ่มต้นของการทดลองตัวอิฐทนไฟเองจะมีการสะสมความร้อนไว้ส่วนหนึ่งจากความร้อนที่ได้รับจากของไหลร้อนในวัฏจักรก่อนหน้า และปริมาณความร้อนที่ของไหลเย็นได้รับจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และจะมีค่าคงที่เมื่อวัฏจักรเข้าสู่ Cyclic Equilibrium และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างเวลาที่ใช้ในวัฏจักรเท่ากับ 10, 20 และ 30 นาที พบว่าที่เวลาที่ใช้ในวัฏจักรเท่ากับ 10 นาที จะสามารถรับความร้อนที่อิฐทนไฟถ่ายเทให้ได้มากกว่าเวลาที่ใช้ในวัฏจักรเท่ากับ 20 และ 30 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย