บทที่ 4

การวิจัย

การวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับของค่าคงตัวเวลาในการถ่ายเทความร้อนแท่งเชื้อเพลิง (γ_m) และค่าส่วนกลับของค่าคงตัวเวลาเฉลี่ยในการถ่ายเทความร้อนของแกนเครื่องปฏิกรณ์ (γ) กับระดับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ โดยอาศัยการเดินเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ในสภาวะสมดุลย์ที่ระดับกำลังต่าง ๆ กัน เพื่อเป็นข้อมูลในการหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบฉับพลันต่อไป ส่วนที่สอง เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบฉับพลัน โดยใช้เทคนิคการกระเพื่อมกำลังขนาดย่อม ซึ่งก่อนเริ่มทำการวิจัยในส่วนที่สอง ต้องมีการปรับเทียบค่าเปลี่ยนวิกฤตของแท่งควบคุม เพื่อประมาณการตำแหน่งการดึงแท่งควบคุมให้ได้ค่าเปลี่ยนวิกฤตตามที่ต้องการ ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ค.

4.1 การวัดค่าส่วนกลับของค่าคงตัวเวลาในการถ่ายเทความร้อน

4.1.1 วิธีการวิจัย

เดินเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ในสภาวะสมดุลย์ที่ระดับกำลังต่าง ๆ กัน วัดอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงที่ตำแหน่ง B1 และระดับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณหาค่า γ_m และ γ ขั้นตอนในการวิจัยมีดังต่อไปนี้

4.1.1.1 ดึงแท่งควบคุมทั้งหมดของเครื่องปฏิกรณ์ขึ้นที่ระดับใกล้เคียงกัน โดยกดสวิทช์ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุมแต่ละแท่งให้เครื่องปฏิกรณ์ทำงานอยู่ในสภาวะวิกฤตที่กำลัง 15 วัตต์ อ่านระดับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ได้จากเครื่องบันทึกกราฟระดับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์เชิงเส้น บนแผงควบคุม ซึ่งมีมาตราส่วนกำลังเครื่องปฏิกรณ์สูงสุดที่ 30 วัตต์ นำแหล่งกำเนิดนิวตรอนจากภายนอกออกจากแกนเครื่องปฏิกรณ์

4.1.1.2 เดินเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ในสภาวะสมดุลย์ที่ 15 วัตต์ นาน 5 นาที

4.1.1.3 บันทึกตำแหน่งของแท่งควบคุมทั้งหมด และอุณหภูมิของน้ำในบ่อเครื่องปฏิกรณ์

4.1.1.4 บันทึกอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงที่ตำแหน่ง B1 จากมาตรวัดอุณหภูมิบนแผงควบคุม ซึ่งวัดอุณหภูมิมาจากเทอร์โมคัปเปิลตัวกลางที่ฝังอยู่ในแท่งเชื้อเพลิง

4.1.1.5 ปรับสวิทช์มาตราส่วนกำลังเครื่องปฏิกรณ์ให้มีมาตราส่วนกำลังสูงสุดที่ 10 กิโลวัตต์ ดึงแท่งควบคุมทั้งหมดขึ้นในระดับใกล้เคียงกันให้เครื่องปฏิกรณ์มีกำลังที่ 10 กิโลวัตต์

4.1.1.6 ปรับสวิทช์การควบคุมเครื่องปฏิกรณ์จาก MANUAL ไปเป็น AUTOMATIC และหมุนปุ่ม DEMAND ไปที่ 100% เพื่อให้แท่งควบคุมเร็กกูเลติงเคลื่อนที่ขึ้นลงโดยอัตโนมัติ รักษาระดับกำลังไว้ที่ 100% ของมาตราส่วนกำลังสูงสุด (10 กิโลวัตต์) สำหรับการตั้งเปอร์เซนต์ความต้องการกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ไม่มีความละเอียดพอ ดังนั้นต้องหมุนปุ่ม DEMAND จนกระทั่งกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ที่อ่านได้จากเครื่องบันทึกกราฟบนแผงควบคุมมีกำลังตามที่ต้องการ

4.1.1.7 ปล่อยให้เครื่องปฏิกรณ์อยู่ในสภาวะสมดุลย์ 5 นาที

4.1.1.8 บันทึกตำแหน่งของแท่งควบคุมทั้งหมด กำลังของเครื่องปฏิกรณ์และอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิง

4.1.1.9 ปรับสวิทช์การควบคุมเครื่องปฏิกรณ์จาก AUTOMATIC ไปยัง MANUAL

4.1.1.10 ทำการวิจัยเช่นเดียวกับข้อที่ 4.1.1.5 - 4.1.1.9 เพิ่มกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ขึ้นครั้งละ 20 กิโลวัตต์ จนถึง 300 กิโลวัตต์ โดยปรับสวิทช์มาตราส่วนกำลังสูงสุดของเครื่องปฏิกรณ์ให้เหมาะสมกับระดับกำลังที่ต้องการ

4.1.1.11 ปล่อยแท่งควบคุมทั้งหมดลง ดับเครื่องปฏิกรณ์

4.1.1.12 สำหรับกรณีที่การเพิ่มขึ้นของระดับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ไม่เกินมาตราส่วนกำลังสูงสุด สามารถหมุนปุ่ม DEMAND ให้มีกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ตามที่ต้องการได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องปรับสวิทช์ การควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ไปยัง MANUAL และปรับตำแหน่งของแท่งควบคุมที่เหลือให้ใกล้เคียงกับตำแหน่งของแท่งควบคุมเร็กกูเลติง

4.2 การวัดค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบฉับพลัน

4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

4.2.1.1 นาฬิกาจับเวลา จำนวน 2 เรือน

4.2.1.2 เครื่องบันทึกกราฟต่อเวลาโมเดล MOSELEY 680 จำนวน 2 เครื่อง

4.2.1.3 เครื่องบันทึกกราฟในแนวแกน x และ y (x - y plotter) โมเดล OMNIGRAPHIC 2000 จำนวน 1 เครื่อง

4.2.1.4 เครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าแบบเป็นตัวเลข (digital multimeter) จำนวน 1 เครื่อง

4.2.1.5 เครื่องจ่ายกระแสตรงจำนวน 1 เครื่อง

4.2.1.6 ความต้านทานปรับค่าได้ 500 กิโลโอห์ม 1 ตัว

4.2.2 วิธีการวิจัย

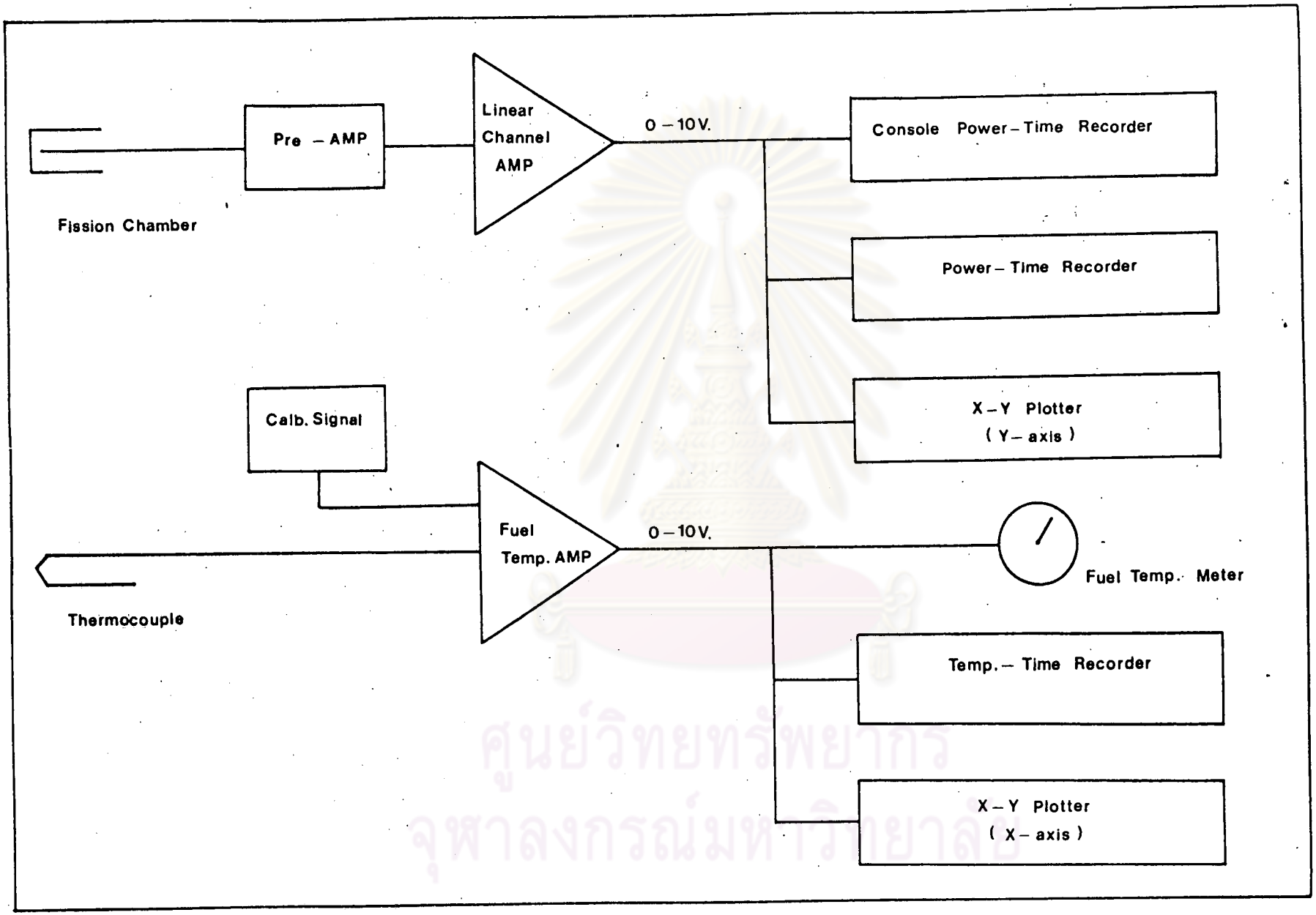
เดินเครื่องปฏิกรณ์ให้เกิดการกระเพื่อมกำลังขนาดย่อม (ค่าเปลี่ยนวิกฤตไม่เกิน 60 เซนต์) บันทึกการเปลี่ยนแปลงของกำลังเครื่องปฏิกรณ์และอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงที่ตำแหน่ง B1 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบฉับพลัน ขณะที่เครื่องปฏิกรณ์มีกำลังสูง-สุด ขั้นตอนในการวิจัยมีดังนี้

4.2.2.1 ปรับเทียบเครื่องบันทึกกราฟต่อเวลาทั้ง 2 เครื่อง โดยเปิดเครื่องบันทึกกราฟให้กระดาษกราฟเลื่อนไป จับเวลา หามาตราส่วนในแนวแกนเวลา หมุนปุ่ม Adjust Zero ให้มาตราส่วนของแกน y เท่ากับศูนย์ ปรับมาตราส่วนในแนวแกน y ให้มีมาตราส่วนสูงสุด 10 โวลต์ ป้อนกระแสตรงเข้าสู่เครื่องบันทึกกราฟ ให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเข้าสู่เครื่องเพิ่มขึ้นครั้งละ 2 โวลต์ สูงสุด 10 โวลต์ ปรับมาตราส่วนในแนวแกน y โดยไขปุ่ม CALIBRATE ให้เครื่องทำงานเชิงเส้นตามแรงเคลื่อนไฟฟ้า

4.2.2.2 ต่อเครื่องบันทึกกราฟทั้งหมด ดังแผนภูมิรูปที่ 4.2.2.1 โดยต่อระดับกำลังเครื่องปฏิกรณ์มาจากสัญญาณเอาท์พุท (out put) ที่ออกจากวงจรขยายกำลังเครื่องปฏิกรณ์เชิงเส้น (linear power channel amplifier) และอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงมาจากวงจรขยายอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิง (fuel temperature amplifier) จากเทอร์โมคัปเปิลตัวกลางของแท่งเชื้อเพลิงที่ตำแหน่ง B1

4.2.2.3 หมุนสวิทช์ TRIP TEST ซึ่งอยู่ใต้มาตรวัดอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงขึ้น จะมีสัญญาณปรับเทียบอุณหภูมิ ซึ่งเป็นกระแสไฟตรงมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 0-10 โวลต์ออกจากวงจรขยายอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิง ปรับให้อุณหภูมิของมาตรวัดเพิ่มขึ้นครั้งละ 100 °ซ ถึง 600 °ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดของมาตรวัด หามาตราส่วนอุณหภูมิของเครื่องบันทึกกราฟต่อเวลา เทียบกับมาตราส่วนที่มาตรวัดอุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงที่จะทำการวิจัยมีค่าสูงไม่เกิน 300 °ซ ดังนั้นขณะที่ปรับให้อุณหภูมิที่มาตรวัดอยู่ที่ 300 °ซ ปรับมาตราส่วนของเครื่องบันทึกกราฟในแนวแกน x และ y ให้แนวแกน x มีมาตราส่วน 100 มิลลิโวลต์ต่อนิ้ว ต่อความต้านทานย่นิดปรับค่าได้อนุกรมกับแนวแกน x ปรับค่าความต้านทานให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเข้าสู่แกน x พอเหมาะ ได้มาตราส่วนของอุณหภูมิที่ 300 °ซ อยู่กึ่งกลางกระดาษกราฟ

4.2.2.4 เริ่มเดินเครื่องปฏิกรณ์ โดยกดสวิทช์ยุดควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุมให้แท่งควบคุมเคลื่อนที่ขึ้น ยกเว้นแท่งควบคุมเร็กกูเลติงยังคงอยู่ที่ระดับต่ำสุดในแกนเครื่องปฏิกรณ์ คือตำแหน่งที่ 100 ปรับมาตราส่วนของเครื่องบันทึกกราฟในแนวแกน x และ y ให้แนวแกน y มีมาตราส่วน 1 โวลต์ต่อนิ้ว เนื่องจากสัญญาณของระดับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์เชิงเส้นมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 0-10 โวลต์เสมอไม่ว่าใช้มาตราส่วนกำลังเครื่องปฏิกรณ์สูงสุดเท่าใด ดังนั้นขณะเริ่มเดินเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อใช้มาตราส่วนกำลังเครื่องปฏิกรณ์สูงสุด 10 วัตต์ หามาตราส่วนกำลังเครื่องปฏิกรณ์ของเครื่องบันทึกกราฟต่อเวลา และเครื่องบันทึกกราฟในแนวแกน y เทียบกับระดับกำลังเครื่องปฏิกรณ์จากเครื่องบันทึกกราฟกำลังเครื่องปฏิกรณ์เชิงเส้นบนแผงควบคุม โดยอ่านเป็นเปอร์เซนต์ของมาตราส่วนกำลังสูงสุด



รูปที่ 4.2.2.1 แผนภูมิแสดงการต่อเครื่องบันทึกกราฟ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.5 เดินเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ในสภาวะวิกฤตที่กำลัง 15 วัตต์ ให้แท่งควบคุมที่ถูกถึงขึ้นอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน อ่านระดับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ จากเครื่องบันทึกกราฟระดับกำลังเครื่องปฏิกรณ์เขียนเส้นบนแผงควบคุม ซึ่งมีมาตราส่วนกำลังเครื่องปฏิกรณ์สูงสุดที่ 30 วัตต์ นำแหล่งกำเนิดนิวตรอนจากภายนอกออกจากแกนเครื่องปฏิกรณ์

4.2.2.6 เดินเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ที่สภาวะสมดุลย์ที่ 15 วัตต์ นาน 5 นาที

4.2.2.7 บันทึกตำแหน่งของแท่งควบคุมทั้งหมด ยกเว้นตำแหน่งแท่งความควบคุมเร็กกูเลติง

4.2.2.8 บันทึกอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิง B1 และอุณหภูมิของน้ำในบ่อเครื่องปฏิกรณ์

4.2.2.9 หาตำแหน่งการดึงแท่งควบคุมเร็กกูเลติง เพื่อให้เครื่องปฏิกรณ์มีค่าเปลี่ยนวิกฤตเพิ่มขึ้นประมาณ 25 เซนต์ จากกราฟการปรับเทียบค่าเปลี่ยนวิกฤตของแท่งควบคุมเร็กกูเลติง (ดูในภาคผนวก ค.)

4.2.2.10 กดสวิทช์ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุมเร็กกูเลติงให้แท่งควบคุมเร็กกูเลติงเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วประมาณ 0.74 ซม./วินาที จนกระทั่งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ต้องการ ปรับสวิทช์มาตราส่วนกำลังเครื่องปฏิกรณ์ของเครื่องบันทึกกราฟบนแผงควบคุมให้มีมาตราส่วนสูงสุดที่ 1 กิโลวัตต์ ใช้เวลารอประมาณ 30-38 วินาที เพื่อให้ค่าคงตัวเวลาเสถียรที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน 1 - 5% ทำการวัดค่าคงตัวเวลาเสถียรโดยจับเวลาที่เครื่องปฏิกรณ์มีระดับกำลังเพิ่มขึ้น 1.5 เท่า เช่น จาก 200 วัตต์เป็น 300 วัตต์เป็นต้น

4.2.2.11 ภายหลังจากวัดค่าคงตัวเวลาเสถียรเสร็จแล้ว ปรับสวิทช์มาตราส่วนกำลังสูงสุดไปที่ 300 กิโลวัตต์ เปิดเครื่องบันทึกกราฟที่ต่อเข้ากับแผงควบคุมทั้งหมด

4.2.2.12 ปล่อยให้กำลังของเครื่องปฏิกรณ์เพิ่มขึ้น จนกระทั่งอยู่ในสภาวะสมดุลย์ที่ระดับกำลังค่าหนึ่ง ปิดเครื่องบันทึกกราฟ

4.2.2.13 ปล่อยแท่งควบคุมทั้งหมดลง รอให้เครื่องปฏิกรณ์มีกำลังลดลงต่ำกว่า 15 วัตต์

4.2.2.14 ตั้งแท่งควบคุมขึ้นที่ระดับใกล้เคียงกัน โดยกดสวิทช์ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุมแต่ละแท่ง ยกเว้นแท่งควบคุมเร็กกูเลติ้งอยู่ที่ตำแหน่ง 100 ให้เครื่องปฏิกรณ์ทำงานอยู่ในสภาวะวิกฤตที่กำลัง 15 วัตต์ อีกครั้งหนึ่ง

4.2.2.15 ทำการวิจัยเช่นเดียวกับข้อ 4.2.2.6 - 4.2.2.13 โดยเพิ่มค่าเปลี่ยนวิกฤตเป็น 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 เซนต์ ใช้เวลารอก่อนวัดค่าคงตัวเวลาเสถียรประมาณ 25 - 35, 20 - 25, 12 - 27, 10 - 15, 5 - 10 และ 4 - 7 วินาที ตามลำดับ การวัดค่าคงตัวเวลาเสถียรเมื่อค่าเปลี่ยนวิกฤต 50 - 60 เซนต์ ควรปรับสวิทช์มาตราส่วนกำลังเครื่องปฏิกรณ์สูงสุดไปที่ 10 กิโลวัตต์ ทั้งนี้เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของกำลังเครื่องปฏิกรณ์เร็วมาก

4.2.2.16 ดับเครื่องปฏิกรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย