

การวัดค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมีย้อนกลับแบบจับพลัน
ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1 / ปรับปรุงครั้งที่ 1



นายภาณุ อุทโยภาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

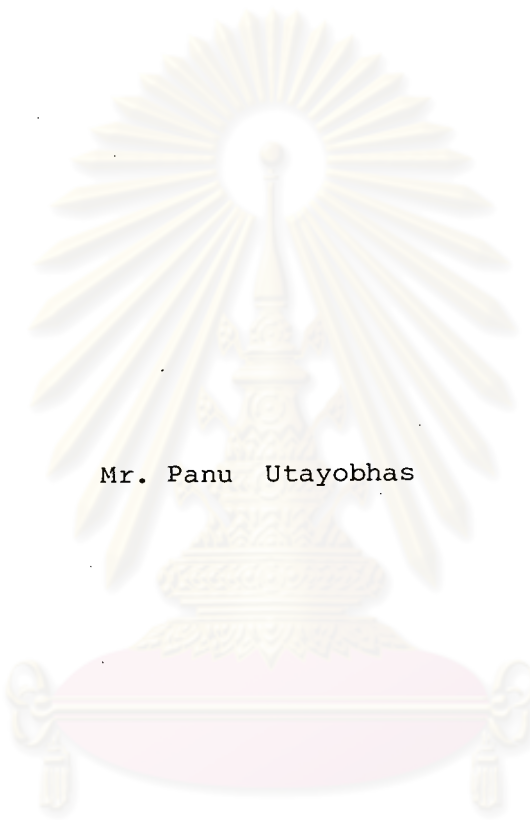
พ.ศ. 2527

ISBN 974-563-345-3

014766

11711869

PROMPT TEMPERATURE FEEDBACK COEFFICIENT MEASUREMENT
OF TRR-1/M. 1



Mr. Panu Utayobhas

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1984



หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวัดค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบล้นของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู
วลัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1

โดย นายภาณุ อุทโยภาศ
ภาควิชา วิศวกรรมเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. มนูญ อร่ามรัตน์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... *บุณชาติ บัณฑิตวิทยาลัย* คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองคณบดี ดร. สุประดิษฐ์ บุญภาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... *สุวรรณี แสงเพ็ชร* ประธานกรรมการ
(คณบดี ดร. สุวรรณี แสงเพ็ชร)

..... *รัชชัย สุ่มิตร* กรรมการ
(รองคณบดี ดร. รัชชัย สุ่มิตร)

..... *วิรุฬห์ มังคละวิรัช* กรรมการ
(รองคณบดี ดร. วิรุฬห์ มังคละวิรัช)

..... *มนูญ อร่ามรัตน์* กรรมการ
(ดร. มนูญ อร่ามรัตน์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวัดค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบลับพลันของ เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู
วิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1

ชื่อ นิสิต นายภาณุ อุกโขภาค
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. มนูญ อร่ามรัตน์
ภาควิชา นิเวศสียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2526



บทคัดย่อ

ในการวิจัยการวัดค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบลับพลันของ เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู
วิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 ได้ใช้เทคนิคการกระเพื่อมกำลังขนาดย่อมที่ค่าเปลี่ยนวิกฤตต่าง ๆ กัน
(ไม่เกิน 60 เซนต) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบลับพลันจากข้อมูลระดับกำลังของ
เครื่องปฏิกรณ์ และอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงที่วัดได้บริเวณกึ่งกลางแท่งเชื้อเพลิง B1 ขณะที่
เครื่องปฏิกรณ์กำลังสูงสุด โดยใช้สมการประมาณการกระโดดของความหนาแน่นนิวตรอนที่
พิจารณานิวตรอนล่าเพียงกลุ่มเดียว กฎการระบายความร้อนของนิวตัน และสัมมูลย์ของค่า
เปลี่ยนวิกฤตเชิงเส้น

ผลจากการวิจัยพบว่าที่ย่านอุณหภูมิเฉลี่ยโดยปริมาตรของแท่งเชื้อเพลิงระหว่าง
53-57°ซ ซึ่งเป็นย่านอุณหภูมิที่ได้จากการวิจัย ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับ มีค่าเฉลี่ย-1.39
เซนต/°ซ ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากเทคนิคการวัดการสูญเสียค่าเปลี่ยนวิกฤต และเทคนิคการ
กระเพื่อมกำลังขนาดย่อมของมหาวิทยาลัยอริโซนา และมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณของ
บริษัท เจเนอรัลอะตอมมิก สำหรับแท่งเชื้อเพลิงมาตรฐานประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์



Thesis Title: Prompt Temperature Feedback Coefficient Measurement
of TRR-1/M 1

Name: Mr. Panu Utayobhas

Tesis Advisor: Dr. Manoon Aramrattana

Department: Nuclear Technology

Academic Year: 1983

ABSTRACT

Prompt temperature feedback coefficient measurement of TRR-1M/1 (TRIGA MARK III) at the Office of Atomic Energy for Peace was carried out by direct measurements of heat transfer and reactor power characteristics during small power excursion experiment (reactivities less than 60 ¢). An instrumented fuel element at position B1 was used to measure the temperature characteristic of fuel elements. From measured reactivities and heat transfer, prompt temperature feedback coefficient was calculated by using prompt-jump and one-delayed-neutron-group approximated diffusion equation, Newton's Law of Cooling, and linear reactivity equation. The core loading was mainly standard fuel elements.

Averaged value of prompt temperature feedback coefficient obtained was $-1.39 \text{ ¢/}^\circ\text{C}$ over the temperature range from 53°C to 57°C . The result is comparable to that obtained, by similar experiment, at the University of Arizona and about 16 percent above that reported by General Atomic Company, supplier of the reactor.



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. มนูญ อร่ามรัตน์ กองอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำทั้งทางด้านวิชาการและปฏิบัติ
การในการวิจัย ตลอดจนแก้ไขตรวจทานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ อาจารย์ ดร. ฝั่สัสมพร
จิตตากรณี รัต.ดร. รัชชัย สุ่มิตร ที่ให้คำแนะนำทางด้านวิชาการเพิ่มเติมรวมทั้งกองอุปกรณ์-
ปฏิบัติ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้ใช้สถานที่และอำนวยความสะดวกในทุกด้าน
กองการวัดกัมมันตภาพรังสี กองสุภาพ กองฟิสิกส์ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่อำนวยความสะดวก
ความสะดวกในด้านเครื่องมือวัด

พร้อมกันนี้ขอขอบพระคุณ คุณรัตนะ พุ่มเล็ก คุณกฤษฎางค์ จิระสำนัต และคุณประสม
สุ่ยสว่าง ที่ให้ความสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณยุทธพงศ์ บุษมมงคล คุณมงคล จุลละนันท์ คุณศุภชัย อุดมสัมพันธ์
คุณประเสริฐ วัชรภาพฤกษ์ คุณนพพร ต่อแสงศรี คุณมานิชท์ จิมกิน คุณไพบูลย์ กลิ่นเกษร
คุณเกรียงไกร เกื้อชาติ คุณสมบัติ จิระชาญชัย คุณเอกชัย ศิริภิรมย์ ผศ.นเรศ จันทร์ขาว
คุณศิริรัตน์ พิรมนตรี คุณวิทยา วรรณสวัสดิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติงานวิจัยและให้
คำแนะนำต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ คุณณฤมล วิริยะวโนทยาน ที่ได้ช่วยเหลือจัดทำเอกสาร
เป็นอย่างดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	4
1.6 ข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจย้อนกลับแบบสับเปลี่ยน	5
2. ทฤษฎี	11
2.1 สมการการแพร่กระจายของนิวตรอน	12
2.2 นิวตรอนล่า	12
2.3 สมการสมมูลย์ปฏิกรณ์จุด	14
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงตัวเวลาเฉลี่ยกับค่าเปลี่ยนวิกฤต	20
2.5 เทคนิคการวัดค่าคงตัวเวลาเฉลี่ย	24
2.6 สมการกลุ่มเดี่ยว	27
2.7 สมการประมาณการกระโดดของความหนาแน่นนิวตรอน	30
2.8 สัมประสิทธิ์อุณหภูมิจย้อนกลับ	33

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.9	37
2.10	43
3. เทคนิคการหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบฉบับพลัน	52
3.1	53
3.2	53
3.3	55
3.4	58
3.5	61
3.6	63
3.7	69
3.8	73
3.9	76
3.10	77
3.11	81
4. การวิจัย	83
4.1	83
4.2	85
5. ผลการวิจัย	90
5.1	90
5.2	98

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
6. สรุปลผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	124
6.1 สรุปลผลการวิจัย	124
6.2 ข้อเสนอแนะ	125
เอกสารอ้างอิง	127
ภาคผนวก	131
ประวัติ	175



ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.2.1	นิเวตรอนล่าจากปฏิกิริยาลูกโซ่ของเทอร์มัลนิเวตรอน	13
2.6.1	ค่า λ และ λ' ของเชื้อเพลิงนิวเคลียร์เมื่อเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ จากนิเวตรอนพลังงานต่าง ๆ	29
2.8.1	ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับของเครื่องปฏิกรณ์แบบเฮทเทอร์- โรสเดียวที่ใช้ยูเรเนียมความเข้มข้นต่ำเป็นเชื้อเพลิง	36
3.3.1.1	ข้อมูลทางเทคนิคของแท่งเชื้อเพลิงแบบมาตรฐานและแบบ LEU	59
5.1.2.1	ค่า γ_m และ γ ที่ระดับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง 10 - 300 กิโลวัตต์	92
5.2.2.1	ค่า α_1 และ α_2 จากการวิจัย	116
5.2.2.2	ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบซับซ้อนจากการกระเพื่อม กำลังขนาดย่อมที่ค่าเปลี่ยนวิกฤตประมาณ 30 - 50 เซนต์ ..	120

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1.1	ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบฉบับของเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ แท่งเชื้อเพลิงแบบ TRIGA-LEU 10 เมกกะวัตต์	3
1.6.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบฉบับของ เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้แท่งเชื้อเพลิงแบบมาตรฐานกับอุณหภูมิเฉลี่ยของ แท่งเชื้อเพลิง	6
1.6.2	แสดงค่าภาคตัดขวางในการดูดกลืนนิวตรอนของ Er-167 ในย่าน พลังงานรีโชนแนซ	7
1.6.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบฉบับของ เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้แท่งเชื้อเพลิงแบบ LEU กับอุณหภูมิเฉลี่ยของ แท่งเชื้อเพลิง	8
1.6.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิย้อนกลับแบบฉบับที่ ได้จากการทดลองและการคำนวณกับอุณหภูมิเฉลี่ยโดยปริมาตร ของแท่งเชื้อเพลิงของมหาวิทยาลัยศรีโชนา	10
2.4.1	กราฟของส่มการในช่วงโมเมนต์นิวตรอนล่า 6 กลุ่ม	22
2.5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปลี่ยนวิกฤตกับเวลาที่รอก่อนเริ่มวัด ค่าคงตัวเวลาเฉลี่ย โดยมีความคลาดเคลื่อน 1% 5% และ 10%	26
2.6.1	กราฟของส่มการในช่วงโมเมนต์นิวตรอนล่ากลุ่มเดียว	28
2.6.2	แสดงการเปรียบเทียบกราฟของส่มการในช่วงโมเมนต์นิวตรอน ล่า 6 กลุ่ม และกลุ่มเดียว	30
2.7.1	แสดงการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของนิวตรอนจากส่มการ ประมาณการกระโดดของความหนาแน่นนิวตรอน (PJ) กับการเพิ่มขึ้นที่แท้จริง	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.9.1	แสดงการเปลี่ยนแปลงภาคตัดขวางในการจับนิวตรอน (Capture Cross Section) ของ U-238 ที่พลังงานยอตรโชนันซ์ (E_0) 6.67 ev	38
2.9.2	ค่าเฉลี่ยของนิวตรอนฟลักซ์ในแท่งเชื้อเพลิงแบบ TRIGA ที่อุณหภูมิ 23°C และ 400°C ตามลำดับ	41
2.9.3	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของเครื่องปฏิกรณ์กับเวลาหลังจากเพิ่มค่าเปลี่ยนวิกฤตขึ้นไปค่าหนึ่ง	42
2.10.1	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของเครื่องปฏิกรณ์กับเวลา	46
2.10.2	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงกับเวลา	47
2.10.3	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของเครื่องปฏิกรณ์กับอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิง	47
3.2.1	แผนผังของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1	54
3.3.2	แผนผังของแกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1	56
3.3.1.1	แท่งเชื้อเพลิงแบบ TRIGA	57
3.3.2.1	แท่งเชื้อเพลิง TRIGA แบบมีเครื่องวัดอุณหภูมิภายใน	60
3.4.1	การเคลื่อนที่ของแท่งควบคุมชนิดที่ประกอบด้วยเชื้อเพลิงภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์	62
3.5.1	แผนผังควบคุมของเครื่องปฏิกรณ์แบบ TRIGA	64
3.8.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับของค่าคงตัวเวลาในการถ่ายเทความร้อน	75
3.10.1	การกระจายของกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ในแนวรัศมี	79
4.2.2.1	แผนภูมิแสดงการต่อเครื่องบันทึกกราฟ	87
5.1.2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ_m และ γ กับระดับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์	93

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.1.2.2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทางความร้อนกับประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์	95
5.2.2.1	การเปลี่ยนแปลงกำลังของเครื่องปฏิกรณ์และอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงเมื่อเพิ่มค่าเปลี่ยนวิกฤต 24.17 เซนต์	102
5.2.2.2	การเปลี่ยนแปลงกำลังของเครื่องปฏิกรณ์และอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงเมื่อเพิ่มค่าเปลี่ยนวิกฤต 28.92 เซนต์	103
5.2.2.3	การเปลี่ยนแปลงกำลังของเครื่องปฏิกรณ์และอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงเมื่อเพิ่มค่าเปลี่ยนวิกฤต 32.31 เซนต์	104
5.2.2.4	การเปลี่ยนแปลงกำลังของเครื่องปฏิกรณ์และอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงเมื่อเพิ่มค่าเปลี่ยนวิกฤต 35.93 เซนต์	105
5.2.2.5	การเปลี่ยนแปลงกำลังของเครื่องปฏิกรณ์และอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงเมื่อเพิ่มค่าเปลี่ยนวิกฤต 39.59 เซนต์	106
5.2.2.6	การเปลี่ยนแปลงกำลังของเครื่องปฏิกรณ์และอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงเมื่อเพิ่มค่าเปลี่ยนวิกฤต 43.35 เซนต์	107
5.2.2.7	การเปลี่ยนแปลงกำลังของเครื่องปฏิกรณ์และอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงเมื่อเพิ่มค่าเปลี่ยนวิกฤต 44.75 เซนต์	108
5.2.2.8	การเปลี่ยนแปลงกำลังของเครื่องปฏิกรณ์และอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงเมื่อเพิ่มค่าเปลี่ยนวิกฤต 50.46 เซนต์	109
5.2.2.9	การเปลี่ยนแปลงกำลังของเครื่องปฏิกรณ์และอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงเมื่อเพิ่มค่าเปลี่ยนวิกฤต 56.58 เซนต์	110
5.2.2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของเครื่องปฏิกรณ์กับอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิง	111
5.2.2.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า x ค่า y เมื่อ $\zeta = 2.23$	112
5.2.2.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า x ค่า y เมื่อ $\zeta = 1.99$	113

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.2.2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า x กับ y เมื่อ $\zeta = 1.67$	114
5.2.2.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า x' กับ y' เมื่อ $a = 0.62$	115
5.2.2.15	ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมีย้อนกลับแบบจับพลันเมื่อใช้ค่า α_1 และ α_2 ต่าง ๆ กัน.....	118
5.2.2.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมีย้อนกลับแบบ จับพลันกับอุณหภูมิจนเฉลี่ยโดยปริมาตรของแท่ง เชื้อเพลิง ในแกนเครื่องปฏิกรณ์	122
5.2.2.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมีย้อนกลับแบบ จับพลันกับอุณหภูมิจนเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิง B1 ที่วัดได้จากเทอร์โม- คัพเปิลตัวกลาง	123