การพัฒนาโปรแกรมคำนวณการจัดการแกนเชื้อเพลิงนิวเคลียร์แบบ 2 มิติและหนึ่งกลุ่มพลังงาน

นางสาวภุชวดี เขียวรอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544
ISBN 974-03-1182-2
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20281481

DEVELOPMENT OF AN IN-CORE NUCLEAR FUEL MANAGEMENT COMPUTATIONAL PROGRAM IN 2-D AND 1 ENERGY GROUP

Miss Puchawadee Kiewrod

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Nuclear Technology
Department of Nuclear Technology
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2001

ISBN 974-03-1182-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาโปรแกรมคำนวณการจัดการแกนเชื้อเพลิงนิวเคลียร์แบบ 2 มิติและหนึ่งกลุ่มพลังงาน
โดย	นางสาว ภุชวดี เขียวรอด
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญชัย นิลสุวรรณโฆษิต
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญชัย นิลสุวรรณโฆษิต)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาวภุชวดี เขียวรอด : การพัฒนาการจัดการแกนเชื้อเพลิงนิวเคลียร์แบบ 2 มิติและหนึ่งกลุ่มพลังงาน. (DEVELOPMENT OF AN IN-CORE NUCLEAR FUEL MANAGEMENT COMPUTATIONAL PROGRAM IN 2-D AND 1 ENERGY GROUP) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สัญชัย นิลสุวรรณโฆษิต, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.สมยศ ศรีสถิตย์ จำนวนหน้า 69 หน้า. ISBN 974-03-1182-2.

การวิจัยนี้ทำการคำนวณการจัดการแกนเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ในกลุ่มพลังงานความร้อน (thermal group) ใน 2 มิติ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะคำนวณ ค่าวิกฤต ขนาดและการกกระจายของนิวตรอนฟลักซ์ การเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงในแกนปฏิกรณ์ ค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิง และการบรรจุเชื้อเพลิงเปรียบเทียบ

ค่าวิกฤตและการกระจายของนิวตรอนฟลักซ์โปรไฟล์ที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ค่าทางทฤษฎีเมื่อจำนวนโหนดที่ใช้ในการคำนวณเพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแบบ Out-In Loading พบว่าค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิงที่คำนวณได้มีค่าเบี่ยงเบนจากค่าที่นำมาเปรียบเทียบจากโปรแกรม BRACC ทั้งนี้เนื่องจากโปรแกรม BRACC ไม่ได้นำการเกิดขึ้นของผลผลิตการแตกตัวซึ่งมีความสามารถในการดูดกลืนนิวตรอนสูงมาพิจารณา การเปรียบเทียบการบรรจุเชื้อเพลิง 3 แบบ ซึ่งทำการบรรจุเชื้อเพลิงแบบเนื้อเดียว แบบ Out-In Loading และ แบบ In-Scatter Loading เมื่อคำนวณค่าความหนาแน่นกำลังสูงสุดต่อค่าความหนาแน่นกำลังเฉลี่ยพบว่า การบรรจุแบบ In-Scatter Loading ให้ผลดีที่สุด เพราะค่าความหนาแน่นกำลังสูงสุดต่อค่าความหนาแน่นกำลังเฉลี่ยระหว่างรอบการบรรจุน้อยที่สุด รองมาคือ Out-In Loading และ แบบเนื้อเดียวตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี	ลายมือชื่อนิสิต.....ภุชวดี เขียวรอด.....
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2544	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....สมยศ ศรีสถิตย์.....

4170456221 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORD: FUEL MANAGEMENT/ BURNUP/ DEPLETION ANALYSIS/ FUEL CYCLE/ FISSION PRODUCT POISON

MISS PUCHAWADEE KIEWROD : DEVELOPMENT OF AN IN-CORE NUCLEAR FUEL MANAGEMENT COMPUTATIONAL PROGRAM IN 2-D AND 1 ENERGY GROUP. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.DR. SUNCHAI NILSUWANKOSIT, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSOC.PROF. SOMYOD SRISATIT, [69] pp. ISBN 974-03-1182-2.

This research computed the in-core nuclear fuel management in one thermal energy group and two dimensions. The developed program computed the criticality, the neutron flux distribution and its magnitude, the change in the in-core nuclear fuel, the fuel burnup, and the comparative results when the loading patterns were implemented.

The computed criticality and the distribution profile of the neutron flux converged to the theoretical values as the number of nodes was increased. With the Out-In reloading pattern, it was found that the computed nuclear fuel burnup deviated from that computed by BRACC programme. This was because BRACC did not take the fission product poisons into consideration. Three re-loading patterns, the Uniform Loading, the Out-In Loading and the In-Scatter Loading were also compared. Based on the ratio of the maximum power density to the averaged power density, the In-Scatter Loading was considered to give the best result and was followed respectively by the Out-In Loading and the uniform Loading.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Nuclear Technology — Student's signature.....

Field of study Nuclear Technology — Advisor's signature.....

Academic year 2001 — Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผศ.ดร.สัญชัย นิลสุวรรณโฆษิต ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้เงินอุดหนุนงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณรศ.สมยศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล ประธานกรรมการ และผศ.อรรถพร ภัทรสุมันต์ กรรมการที่ช่วยอ่านและแก้ไขวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณพี่ เพื่อนและน้องที่ร่วมอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยช่วยเหลือ ปรับทุกข์และให้กำลังกันมาโดยตลอดโดยเฉพาะพี่อุริช อัชชโคสิต ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือ ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ทุกคนที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีที่คอยถามไถ่ ให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาในงานวิจัยด้วยดี และขอขอบคุณเพื่อน ๆ นอกภาควิชาทุกคนที่คอยถามให้กำลังใจและแอบลุ้นเพื่อนคนนี้มาตลอดตั้งแต่ต้นจนจบ

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาที่สนับสนุนการเงินด้วยดีมาตลอด และขอขอบคุณครอบครัว (ใหญ่ ๆ) ได้แก่ พ่อ แม่ พี่สาว 2 คน พี่เขยและหลานที่น่ารักอีก 4 คน ที่คอยหาข้าว หาน้ำ และช่วยเหลือมาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ไทย.....ง

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์อังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ญ

สารบัญภาพ.....ฎ

บทที่

1. บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....4

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2. แนวคิดและทฤษฎี.....6

2.1 อันตรกิริยานิวตรอน.....6

2.1.1 การกระเจิงแบบยืดหยุ่น.....6

2.1.2 การกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น.....6

2.1.3 อันตรกิริยาจับนิวตรอน.....6

2.1.4 อันตรกิริยาการแตกตัว.....7

2.1.5 อันตรกิริยาปลดปล่อยอนุภาคมีประจุ.....8

2.1.6 อันตรกิริยาผลิตนิวตรอน.....8

2.2 ผลกระทบของผลิตภัณฑ์จากอันตรกิริยานิวตรอน.....8

2.2.1 ผลิตภัณฑ์จากอันตรกิริยากับนิวตรอนที่มีผลให้ค่ารีแอคติวิตีเป็นลบ.....9

2.2.2 ผลิตภัณฑ์จากอันตรกับกิริยานิวตรอนที่มีผลให้ค่ารีแอคติวิตีเป็นบวก.....10

2.3 การบรรจุเชื้อเพลิง.....11

2.4 การคำนวณนิวตรอนฟลักซ์และค่าวิกฤต.....14

2.4.1 การแพร่นิวตรอนฟลักซ์.....14

2.4.2 ค่าวิกฤต.....15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 การวิเคราะห์การหมดไปของเชื้อเพลิง.....17
2.5.1 สมการพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงนิวเคลียสไอโซโทปเนื่องจาก
อันตรกิริยากับนิวตรอนและการสลายตัว.....17
2.5.1.1 อนุกรมการเปลี่ยนแปลงของ ^{235}U 18
2.5.1.2 อนุกรมการเปลี่ยนแปลงของ ^{238}U 19
2.5.2 ผลผลิตการแตกตัว.....20
2.5.2.1 ซีนอนจากการแตกตัว.....22
2.5.2.2 ซามาเรียมจากการแตกตัว.....24
2.6 ระเบียบเชิงตัวเลข.....25
2.6.1 ระเบียบการแยกแบบแอลยู.....25
2.6.2 วิธีการผลต่างสืบเนื่อง.....26
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....29
3.1 แผนผังในการเขียนโปรแกรม.....29
3.1.1 การกำหนดรูปแบบข้อมูลเข้า.....30
3.1.2 การกำหนดวิธีการคำนวณ.....31
3.1.2.1 วิธีการคำนวณค่าวิกฤต.....31
3.1.2.2 วิธีการคำนวณค่าความหนาแน่นไอโซโทป.....32
3.1.2.3 วิธีการคำนวณนิวตรอนฟลักซ์.....32
3.1.2.4 วิธีการคำนวณค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิง.....33
3.2 ผลต่างสืบเนื่องของการคำนวณหาค่าวิกฤต.....33
3.3 โปรแกรม BRACC.....40
4. ผลการคำนวณ.....42
4.1 การคำนวณค่าวิกฤต.....42
4.2 การคำนวณนิวตรอนฟลักซ์โปรไฟล์.....45
4.3 การเปรียบเทียบขนาดของขั้นเวลาที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณการเปลี่ยนแปลง
ของเชื้อเพลิงในแกนปฏิกรณ์.....47
4.4 การคำนวณค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิง.....50
4.5 การเปรียบเทียบการบรรจุเชื้อเพลิง 3 แบบ.....54
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1 สรุปผลการวิจัย.....59
5.1.1 การคำนวณค่าวิฤต.....59
5.1.2 การคำนวณนิวตรอนฟลักซ์โปรไฟล์.....60
5.1.3 การเปรียบเทียบขนาดขั้นเวลาที่เหมาะสมสำหรับคำนวณการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงในแกนปฏิกรณ์.....60
5.1.4 การคำนวณค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิง.....61
5.1.5 เปรียบเทียบการบรรจุเชื้อเพลิง 3 แบบ.....61
5.2 ข้อเสนอแนะ.....62
รายการอ้างอิง.....63
ภาคผนวก.....64
ภาคผนวก ก ข้อมูลของแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบ PWR.....65
ภาคผนวก ข การกำหนดโหนด.....66
ภาคผนวก ค ฟังก์ชันเบซเซลลำดับศูนย์.....68
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....69

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 Geometric Backings และ Critical flux Profile ของแกนปฏิกรณ์ในรูปแบบต่าง ๆ.....16

2.2 ค่าสัดส่วนในการแตกตัวและค่าคงที่การสลายตัว.....24

4.1 เปรียบเทียบค่าวิกฤตที่จำนวนโหนดต่างกัน.....42

4.2 เปรียบเทียบค่าภาคตัดขวางมหภาคการดูดกลืนของตัวควบคุมที่จำนวนโหนดต่างกัน.....43

4.3 นิวตรอนฟลักซ์โปรไฟล์ของ 193 โหนดเทียบกับฟังก์ชัน bessel(J0).....45

4.4 นิวตรอนฟลักซ์โปรไฟล์ของ 349 โหนดเทียบกับฟังก์ชัน bessel(J0).....46

4.5 เปรียบเทียบค่าวิกฤตที่ขั้นเวลาต่างกัน.....47

4.6 เปรียบเทียบค่าภาคตัดขวางการดูดกลืนของตัวควบคุมที่ขั้นเวลาต่างกัน.....49

4.7 เปรียบเทียบค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิง.....53

ก.1 ข้อมูลของแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบ PWR.....65

ข.1 การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัด.....67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

1.1 การผลิตไฟฟ้าของโลกแยกตามประเภทของเชื้อเพลิงปี 2536.....1

1.2 วัฏจักรการจัดการเชื้อเพลิงนิวเคลียร์.....2

2.1 อันตรกิริยานิวตรอนลักษณะต่าง ๆ.....7

2.2 ปฏิกิริยาลูกโซ่.....8

2.3 วัฏจักรนิวตรอนในปฏิกิริยาลูกโซ่ของการแตกตัวของยูเรเนียมโดยเทอร์มัลนิวตรอน.....11

2.4 แผนภาพการจัดการแกนกลางแบบ Out-In Loading.....12

2.5 แผนภาพการจัดการแกนกลางแบบ In-Scatter Loading.....13

2.6 แผนภาพการจัดการแกนกลางแบบ Low Leakage Core Loading.....13

2.7 อนุกรมการเปลี่ยนแปลงของ ^{235}U 18

2.8 อนุกรมการเปลี่ยนแปลงของ ^{238}U 19

2.9 แผนผังการสลายตัวอย่างง่ายของ ^{135}Xe 23

3.1 แผนผังการดำเนินของโปรแกรมคำนวณ.....29

3.2 รูปแสดงตัวอย่างค่าตำแหน่งแกนปฏิกรณ์.....30

3.3 แผนผังการคำนวณค่าวิกฤต.....32

3.4 กรณีติดขอบแกน 4 ด้าน.....34

3.5 กรณีติดขอบแกน 3 ด้านและ 2 ด้านตามแนวนอน.....35

3.6 กรณีติดขอบแกน 3 ด้านและ 2 ด้านตามแนวตั้ง.....36

3.7 กรณีติดขอบแกน 2 ด้านตามมุม ติดขอบแกน 1 ด้าน และไม่ติดขอบแกน.....37

3.8 แสดงตัวอย่างรูปแบบแกนที่ทำการคำนวณ.....39

3.9 แผนผังในการทำงานของ BRACC.....41

4.1 เปรียบเทียบค่าวิกฤตที่จำนวนโหนดต่างกัน.....43

4.2 เปรียบเทียบค่าภาคตัดขวางมหภาคการดูดกลืนของตัวควบคุมที่จำนวนโหนดต่างกัน.....44

4.3 นิวตรอนฟลักซ์โปรไฟล์ของ 193 โหนดเทียบกับฟังก์ชัน bessel(J0).....45

4.4 นิวตรอนฟลักซ์โปรไฟล์ของ 349 โหนดเทียบกับฟังก์ชัน bessel(J0).....46

4.5 เปรียบเทียบค่าวิกฤตที่ขั้นเวลาต่างกัน.....48

4.6 เปรียบเทียบค่าภาคตัดขวางการดูดกลืนของตัวควบคุมในขั้นเวลาต่างกัน.....50

4.7 ตัวเลขแสดงตำแหน่งมัดเชื้อเพลิง.....51

4.8 ค่าความหนาแน่นของ ^{235}U เมื่อสิ้นสุดรอบการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแรก.....51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

4.9 ตัวเลขแสดงตำแหน่งการเปลี่ยนเชื้อเพลิงรอบใหม่.....52

4.10 เปรียบเทียบค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิง.....53

4.11 การบรรจุเชื้อเพลิงแบบเนื้อเดียว.....54

4.12 การบรรจุเชื้อเพลิงแบบ Out-In Loading.....55

4.13 การบรรจุเชื้อเพลิงแบบ In-Scatter Loading.....55

4.14 ค่าความหนาแน่นกำลังที่บรรจุแบบเนื้อเดียวที่เวลา 0 วัน.....56

4.15 ค่าความหนาแน่นกำลังที่บรรจุแบบเนื้อเดียวที่เวลา 200 วัน.....56

4.16 ค่าความหนาแน่นกำลังที่บรรจุแบบเนื้อเดียวที่เวลา 380 วัน.....56

4.17 ค่าความหนาแน่นกำลังของ Out-In Loading ที่เวลา 0 วัน.....57

4.18 ค่าความหนาแน่นกำลังของ Out-In Loading ที่เวลา 140 วัน.....57

4.19 ค่าความหนาแน่นกำลังของ Out-In Loading ที่เวลา 280 วัน.....57

4.20 ค่าความหนาแน่นกำลังของ In-Scatter Loading ที่เวลา 0 วัน.....58

4.21 ค่าความหนาแน่นกำลังของ In-Scatter Loading ที่เวลา 140 วัน.....58

4.22 ค่าความหนาแน่นกำลังของ In-Scatter Loading ที่เวลา 280 วัน.....58

ข.1 จำนวนโหนด 177 โหนด.....66

ข.2 จำนวนโหนด 185 โหนด.....67

ข.3 จำนวนโหนด 193 โหนด.....67

ค.1 ฟังก์ชันเบซเซลลำดับศูนย์.....68

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย