การจัดการเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

นาย ไตรภพ ผ่องสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2530

ISBN 974-568-442-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

013094

I 10295938

IN-CORE FUEL MANAGEMENT OF NUCLEAR REACTOR USING A MICROCOMPUTER

Mr. Tripob Bhongsuwan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-568-442-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจัดการเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์
โดย นาย ไตรภพ ผ่องสุวรรณ
ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.รัชชัย สุมิตร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. รัชชัย สุมิตร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วิระชัย บัญชรเทวกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไตรภพ ผ่องสุวรรณ : การจัดการเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ (IN-CORE FUEL MANAGEMENT OF NUCLEAR REACTOR USING A MICRO-COMPUTER) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. อัชชัย สุมิตร, 190 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ ในการคำนวณการจัดการเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบ PWR มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการเรียนการสอนวิชาทฤษฎีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ โดยเฉพาะการจัดการเชื้อเพลิง โดยทำการแก้ไขดัดแปลงจากชุดโปรแกรม VPI ซึ่งเป็นชุดโปรแกรมที่เดิมใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดกลาง ประกอบด้วยมอดูล 6 มอดูล คือ FARCON SLOCON DISFAC ODOG ODMUG และ FBURN มีลักษณะเป็นมอดูลที่ทำงานอย่างอิสระไม่ขึ้นต่อกัน การเตรียมอินพุทต้องกระทำแยกแต่ละมอดูลแต่ผลลัพธ์จากมอดูลหนึ่งจะมีประโยชน์ในการเตรียมอินพุทของมอดูลอื่น ชุดโปรแกรม VPI ออกแบบไว้สำหรับการคำนวณค่าคงที่ต่างๆ ของกลุ่มนิวตรอนเร็ว เรโซแนนซ์ และเทอร์มัล การคำนวณค่าเทอร์มัลยูทิไลเซชันและค่าดิสแอดวานเตจแฟกเตอร์ การหาคำตอบของสมการการแพร่กระจายของนิวตรอนชนิด 1 กลุ่ม 1 มิติ การคำนวณสภาวะวิกฤตของนิวตรอน 3 กลุ่มใน 1 มิติ และการคำนวณเบิร์นอัพหรือการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์

ในการศึกษาได้ทำการดัดแปลงชุดโปรแกรมทั้ง 6 มอดูลให้สามารถทำงานได้ด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ตระกูลไอบีเอ็มพีซีในลักษณะเดิมทุกประการ พร้อมทั้งได้ทำการพัฒนาโปรแกรมระบบจัดการเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้มากขึ้น นอกจากนั้นยังได้ทำการปรับปรุงบางมอดูลในชุดโปรแกรมให้มีความสามารถในการรับส่งอินพุท-เอาท์พุทระหว่างกัน จัดทำเป็นชุดโปรแกรมรุ่นเชื่อมโยงที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทั้งในด้านความรวดเร็ว และยังสามารถคำนวณเชื้อเพลิงในวัฏจักรถัดไป ได้โดยไม่ต้องทำการเตรียมข้อมูลใหม่ดังเช่นในโปรแกรมเดิม

ชุดโปรแกรมสำเร็จที่พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วยมอดูลที่ได้ดัดแปลงแล้วจำนวน 6 มอดูล โปรแกรมระบบจัดการและโปรแกรมการเตรียมอินพุทที่พัฒนาขึ้นใหม่รวม 13 โปรแกรม มอดูลที่ปรับปรุงเป็นรุ่นเชื่อมโยง 4 มอดูล และได้ทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมรวมทั้งการคำนวณปัญหาแบบต่างๆ การคำนวณให้ผลลัพธ์เหมือนกับของเดิม เวลาที่ใช้คำนวณแต่ละมอดูลไม่เท่ากันคือ เมื่อใช้เครื่องไอบีเอ็มพีซีคอมแพติเบิลที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งทำงานที่ความถี่ 4.7 เมกะเฮิรตซ์ ใช้เวลาประมวลผลอย่างต่ำ 15 วินาที และอย่างสูงไม่เกิน 9 นาที แต่เมื่อใช้เครื่องไอบีเอ็มพีซีคอมแพติเบิลที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งทำงานที่ความถี่ 7 เมกะเฮิรตซ์ จะใช้เวลาอย่างต่ำ 13 วินาที และอย่างสูงไม่เกิน 55 วินาที

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

TRIPOB BHONGSUWAN : IN-CORE FUEL MANAGEMENT OF NUCLEAR REACTOR USING A MICROCOMPUTER. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. TATCHAI SUMITRA, Dr.Ing. 190 PP.

This thesis is the application of a microcomputer to in-core fuel management of pressurized light water reactors by modifying the VPI program package designed for medium-size computers. The package consists of 6 independent modules, i.e., FARCON, SLOCON, DISFAC, ODOG, ODMUG and FBURN designed for calculating the fast, resonance and thermal group constants, the thermal utilization and disadvantage factor, the solution of one dimension one group diffusion equation, the 3 groups criticality problem and burnup or depletion calculation.

The VPI modules have been modified to run on microcomputers of an IBM PC type. Operating system programs to manage all modules and to help for inexperienced users have been added, especially for the input process which is now totally interactive. Automatic link between some modules, to transfer input-output data between them, called VPI link version, has also been developed. The new version is able to calculate burnup or depletion in the successive cycles without the neccessity to prepare new input data as in the original version.

The modified program package consists of 6 modified modules, 13 operating system programs and 4 linked modules. The results from IBM PC/XT (compatible) are close to those of the original version. The time required for each module varies from a minimum of 15 seconds up to 9 minutes for IBM PC/XT (compatible) with 4.7 MHz microprocessor, and from 13 to 55 seconds for IBM PC/XT (compatible) with 7 MHz microprocessor.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการศึกษาแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ในช่วง 2 ปีแรกของการศึกษา

ขอขอบคุณ คุณ ดรุณี ชนะวรรณ์ ที่ได้ช่วยเหลือในการตรวจทาน แก้ไขข้อบกพร่องในระหว่างการพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้มีความสมบูรณ์ขึ้น

ท้ายที่สุดนี้ ผู้ทำวิทยานิพนธ์ใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1
   - 1.1 ที่มาของปัญหา 1
   - 1.2 ขอบเขตของการวิจัย 2
   - 1.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 2
   - 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
2. ทฤษฎี 4
   - 2.1 ความรู้เบื้องต้น 4
     - 2.1.1 กระบวนการพิชชัน 4
     - 2.1.2 การปลดปล่อยนิวตรอนในกระบวนการพิชชัน 5
     - 2.1.3 ปฏิกิริยาลูกโซ่ 6
     - 2.1.4 อันตรกิริยาของนิวตรอน 7
     - 2.1.5 ฟลักซ์นิวตรอน 8
     - 2.1.6 ความหนาแน่นอะตอม 8
   - 2.2 การคำนวณค่าคงที่ต่างๆ ของกลุ่มนิวตรอนเร็วและเรโซแนนซ์ 8
     - 2.2.1 การกระเจิงของนิวตรอน 8
     - 2.2.2 การลดความเร็วในตัวกลางขนาดอนันต์ 11
     - 2.2.3 สมการการแพร่กระจายชนิดหลายกลุ่ม 15
     - 2.2.4 การคำนวณในมอดูล FARCON 18
   - 2.3 การคำนวณค่าคงที่ต่างๆ ของกลุ่มนิวตรอนเทอร์มัล 20
     - 2.3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการหาสเปกตรัมของนิวตรอนเทอร์มัล 21
     - 2.3.2 แนวทางในการคำนวณค่าฟลักซ์ของนิวตรอนเทอร์มัล 23
     - 2.3.3 การคำนวณ $P(E' \rightarrow E)$ โดยใช้แบบจำลองวิกเนอร์วิลกินส์ 23
     - 2.3.4 ฟลักซ์ของนิวตรอนเทอร์มัล 27
     - 2.3.5 คำตอบเชิงตัวเลขของสมการริแคตติ 31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.6 ค่าคงที่กลุ่มเทอร์มัล 32
2.3.7 การคำนวณของมอดูล SLOCON 34
2.4 การคำนวณเทอร์มัลยูทิไลเซชันและดิสแอดวานเตจแฟกเตอร์ 34
2.4.1 เทอร์มัลยูทิไลเซชัน 34
2.4.2 การคำนวณเทอร์มัลยูทิไลเซชันโดยวิธีทรานสปอร์ต เอสเคปพรอบาบิลิตี 36
2.4.3 เทอร์มัลดิสแอดวานเตจแฟกเตอร์..... 39
2.5 การคำนวณการแพร่กระจายของนิวตรอนหนึ่งกลุ่มความเร็วในหนึ่งมิติ 40
2.5.1 สมการการแพร่กระจายของนิวตรอนหนึ่งกลุ่ม 40
2.5.2 การดิสครีไตซ์สมการการแพร่กระจาย 42
2.5.3 การคำนวณของมอดูล ODOG 48
2.6 การคำนวณสภาวะวิกฤตของนิวตรอนสามกลุ่มพลังงาน 49
2.6.1 สภาวะวิกฤตของนิวตรอน 3 กลุ่ม 49
2.6.2 การตรวจหาความเข้มข้นของพอยซิน 53
2.7 การคำนวณเบิร์นอัพของเชื้อเพลิง 56
2.7.1 ปฏิกิริยานิวเคลียร์พื้นฐาน 56
2.7.2 พลังงานจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ 57
2.7.3 สมการดิฟเฟอเรนเชียลของการเปลี่ยนแปลงไอโซโทปเชื้อเพลิง . 57
2.7.4 คำตอบของสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงของไอโซโทปเชื้อเพลิง . 59
2.7.5 การกำเนิดพลังงาน 62
2.7.6 อัตราส่วนการแปลง 65
2.7.7 ความเป็นพอยซินของฟิชชันโปรดักท์ 65
2.7.8 การประยุกต์ในการคำนวณวัฏจักรเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ ... 68
3. การพัฒนาและปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 70
3.1 ชุดโปรแกรม VPI 70
3.2 การปรับปรุงชุดโปรแกรม VPI เพื่อใช้กับไมโครคอมพิวเตอร์ไอบีเอ็มพีซี .. 71
3.2.1 การย้ายชุดโปรแกรมจากเทปแม่เหล็ก 71
3.2.2 การใช้โปรแกรม PRIMELINK ด้วยเครื่องไอบีเอ็มพีซี 71
3.2.3 การดัดแปลงชุดโปรแกรม VPI 72
3.2.4 การพัฒนาโปรแกรมระบบจัดการ 76
3.2.5 การเชื่อมโยงมอดูลในชุดโปรแกรม VPI 82

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.6 การปรับปรุงมอดูลต่างๆ สำหรับชุดโปรแกรมรุ่นเชื่อมโยง 85
4. ผลการศึกษาและการคำนวณ 94
4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของชุดโปรแกรม VPI 94
4.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของมอดูล FARCON 94
4.1.2 การตรวจสอบความถูกต้องของมอดูล SLOCON 96
4.1.3 การตรวจสอบความถูกต้องของมอดูล DISFAC 98
4.1.4 การตรวจสอบความถูกต้องของมอดูล ODOG 99
4.1.5 การตรวจสอบความถูกต้องของมอดูล ODMUG 101
4.1.6 การตรวจสอบความถูกต้องของมอดูล FBURN 104
4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของชุดโปรแกรมรุ่นเชื่อมโยง 106
4.3 การใช้ชุดโปรแกรม VPI ในการคำนวณปัญหาต่างๆ 106
4.3.1 การคำนวณค่าคงที่ของกลุ่มนิวตรอนเร็วและเรโซแนนซ์ 106
4.3.2 การคำนวณค่าคงที่ของกลุ่มนิวตรอนเทอร์มัล 108
4.3.3 การคำนวณเทอร์มัลยูทิไลเซชันและดิสแอดวานเตจแฟกเตอร์ 110
4.3.4 การคำนวณสมการการแพร่กระจายของนิวตรอนหนึ่งกลุ่มในหนึ่งมิติ 111
4.3.5 การคำนวณสภาวะวิกฤตของนิวตรอนสามกลุ่มพลังงาน 112
4.3.6 การคำนวณเบิร์นอัพของเชื้อเพลิง 113
4.3.7 การคำนวณปัญหาโดยใช้ชุดโปรแกรมรุ่นเชื่อมโยง 114
4.3.8 การคำนวณเชื้อเพลิงในวัฏจักรถัดไป 115
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ 118
5.1 สรุปผลการวิจัย 118
5.2 ข้อเสนอแนะ 120
เอกสารอ้างอิง 121
ภาคผนวก
ก. เมทริกซ์และปัญหาค่าไอเกน 123
ข. รายละเอียดโปรแกรมระบบจัดการและโปรแกรมการเตรียมอินพุท 130
ค. รายละเอียดผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องไอบีเอ็มพีซี 163
ประวัติผู้เขียน 179

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การกระจายพลังงานเฉลี่ยจากฟิชชันแบบเทอร์มัลของยูเรเนียม-235	5
2.2	การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นไอโซโทปเทียบกับฟลูเอนซ์	61
2.3	พลังงานต่อฟิชชันและค่าแฟกเตอร์ C ของไอโซโทปต่างๆ	63
2.4	ผลผลิตและภาคตัดขวางสำหรับนิวตรอนเรโซแนนซ์และนิวตรอนช้า	67
2.5	ค่ามัลติพลิเคชันชนิดอนันต์ของ PWR เมื่อใช้วัฏจักรเชื้อเพลิงแบบ 3 โซน	69
3.1	แฟกเตอร์ non 1/V ของซีนอน-135 และ ซาแมเรียม-149	92
4.1	ผลการคำนวณมอดูล FARCON เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากไอบีเอ็มพีซีกับซีดีซี .	95
4.2	พลังงานที่ปล่อยออกมาต่อฟิชชัน	96
4.3	ผลการคำนวณมอดูล SLOCON เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากไอบีเอ็มพีซีกับซีดีซี .	97
4.4	ผลการคำนวณมอดูล DISFAC เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากไอบีเอ็มพีซีกับซีดีซี .	99
4.5	ผลการคำนวณมอดูล ODOG เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากไอบีเอ็มพีซีกับซีดีซี ...	100
4.6	ผลการคำนวณมอดูล ODMUG เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากไอบีเอ็มพีซีกับซีดีซี ..	102
4.7	ผลการคำนวณมอดูล FBURN เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากไอบีเอ็มพีซีกับซีดีซี ..	105
4.8	ผลการคำนวณค่าคงที่กลุ่มนิวตรอนเร็วและเรโซแนนซ์ของรีเจียนเชื้อเพลิงที่มีความเข้มข้นยูเรเนียม-235 ต่างกัน	107
4.9	ผลการคำนวณค่าคงที่กลุ่มนิวตรอนเร็วและเรโซแนนซ์ของตัวสะท้อนนิวตรอน ..	108
4.10	เปรียบเทียบผลการคำนวณของมอดูล SLOCON กับโปรแกรม LEOPARD	109
4.11	เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าคงที่กลุ่มเทอร์มัลของรีเจียนเชื้อเพลิงที่มีความเข้มข้นยูเรเนียม-235 ต่างกัน	109
4.12	ค่าคงที่กลุ่มเทอร์มัลของเชื้อเพลิงเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิของวัสดุหน่วงนิวตรอน ..	110
4.13	ผลการคำนวณมอดูล DISFAC เมื่อเปลี่ยนแปลงสมการที่ A710	111
4.14	ข้อมูลค่าคงที่ที่ใช้คำนวณปัญหาสภาวะวิกฤต	112
4.15	ผลการตรวจหาภาคตัดขวางพอยซินเมื่อเปลี่ยนค่าเดาเริ่มต้น	113
4.16	ผลการคำนวณค่าคงที่ของรีเจียนต่างๆ เมื่อใช้โปรแกรมรุ่นเชื่อมโยง	114
4.17	ผลการคำนวณเบิร์นอัพเมื่อใช้โปรแกรมรุ่นเชื่อมโยง	115
4.18	ผลการคำนวณค่าคงที่ของรีเจียนในวัฏจักรถัดไปด้วยชุดโปรแกรมรุ่นเชื่อมโยง	116
4.19	ผลการคำนวณเบิร์นอัพสำหรับวัฏจักรถัดไปเมื่อใช้ชุดโปรแกรมรุ่นเชื่อมโยง ..	117
5.1	เวลาที่ใช้คำนวณปัญหาทดสอบ เปรียบเทียบระหว่างเครื่องไอบีเอ็มพีซีกับซีดีซี	120

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	การกระจายพลังงานของพรอมพ์นิวตรอน	6
2.2	ภาพแสดงนิวตรอนที่กระเจิงจากช่วงพลังงาน dE' สู่ dE	23
2.3	จลนศาสตร์ของระบบนิวตรอน-นิวเคลียสในระบบห้องปฏิบัติการ	24
2.4	การเชื่อมระหว่างระบบห้องปฏิบัติการกับระบบศูนย์กลางมวล	25
2.5	ระบบพิกัดที่ใช้ในกระบวนการดิสครีไทซ์	43
2.6	ภาพและสัญลักษณ์ที่ใช้กำหนดขอบเขตของเครื่องปฏิกรณ์	48
2.7	แผนการหาค่าแทรกสำหรับการตรวจหาพอยซิน	54
2.8	รูปแบบการจัดเชื้อเพลิงแบบเข้า-ออกสามโซน	68
3.1	แผนภาพการทำงานของโปรแกรมระบบจัดการ	77
3.2	ภาพแสดงเมนูหลัก	78
3.3	ภาพแสดงเมนูย่อย	79
3.4	แผนภาพการทำงานของโปรแกรม NEWVER.BAS	84
3.5	แผนภาพการทำงานของโปรแกรม PLINK.BAS	85
3.6	แผนภาพแสดงการเชื่อมโยงการทำงานระหว่างมอดูล	87
3.7	โครงสร้างใหม่ของมอดูล FARCON และ SLOCON สำหรับชุดโปรแกรมรุ่นเชื่อมโยง	88
3.8	โครงสร้างใหม่ของมอดูล FBURN สำหรับชุดโปรแกรมรุ่นเชื่อมโยง	90
3.9	โครงสร้างใหม่ของมอดูล ODMUG สำหรับชุดโปรแกรมรุ่นเชื่อมโยง	93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย