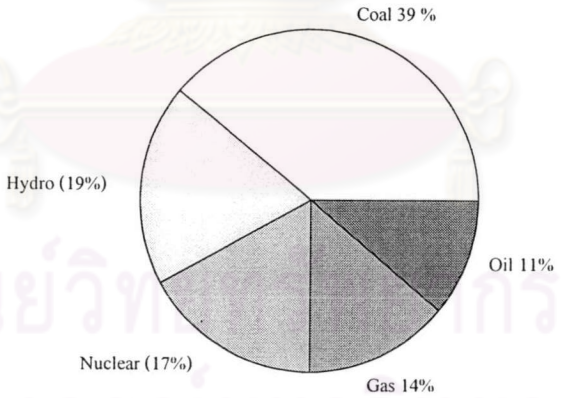
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา[1,2,3]

ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการเพิ่มจำนวนประชากรและการขยายตัวจากการลงทุนในภาคอุตสาหกรรมของประเทศ ทำให้เกิดแนวคิดที่จะจัดหาพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสม โรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์เป็นทางเลือกอย่างหนึ่งที่หลายประเทศทั่วโลกนำมาใช้ดังแสดงในรูป 1.1 โรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์นั้นเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะก่อให้เกิดประโยชน์สูงในอนาคต เพราะนอกจากจะเอื้ออำนวยต่อการพัฒนาประเทศเนื่องจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีเสถียรภาพสูง และยังช่วยชะลอปัญหาเรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ปัญหาฝนกรดและปัญหาเรือนกระจก ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนทั่วไปจะใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน และถ่านหินเป็นปริมาณมหาศาล โดยจะปลดปล่อยก๊าซที่เป็นพิษก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมแต่สำหรับในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ในขณะที่ความร้อนที่ได้นั้นเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการแตกตัว (fission reaction) ของเชื้อเพลิงยูเรเนียมซึ่งไม่ก่อให้เกิดผลผลิตอันเป็นพิษดังกล่าว



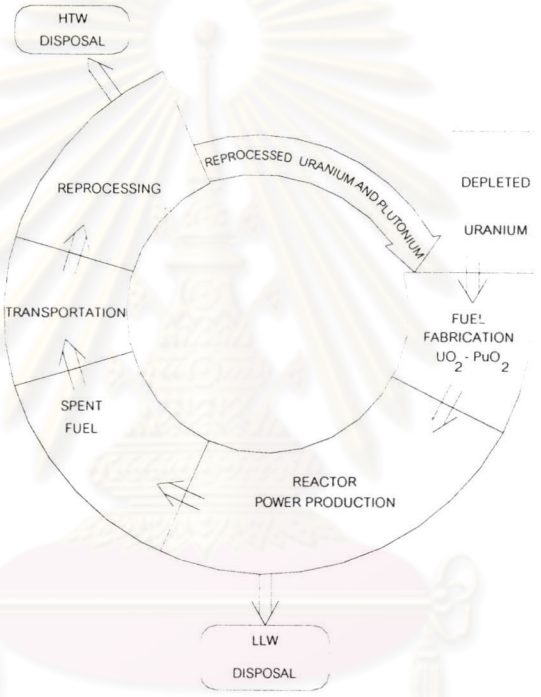
รูปที่ 1.1 การผลิตไฟฟ้าของโลกแยกตามประเภทของเชื้อเพลิง ปี 2536

เชื้อเพลิงยูเรเนียมที่ใช้ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ได้มาจากการนำยูเรเนียมในรูป U_3O_8 หรือที่เรียกว่าเค้กเหลือง (yellow cake) มาปรับปรุงค่า (enriched) ยูเรเนียมตามธรรมชาติประกอบด้วยยูเรเนียมไอโซโทปต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ^{238}U 99.28%
- ^{235}U 0.71%

- ^{234}U 0.006%

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ส่วนใหญ่ออกแบบสำหรับใช้เชื้อเพลิงยูเรเนียมที่มีการปรับปรุงค่าของ ^{235}U ให้มีสัดส่วนเพิ่มขึ้น สำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ LWR (Light Water Reactor) แบบต่าง ๆ จะใช้เชื้อเพลิงที่นำมาปรับปรุงค่าแล้วซึ่งจะมี ^{235}U ประมาณ 2% ถึง 4% โดยมวลเทียบกับมวลของยูเรเนียมทั้งหมดเชื้อเพลิงยูเรเนียมอยู่ในรูปเม็ดเซรามิค บรรจุภายในแท่งเชื้อเพลิง (fuel rod) แล้วประกอบรวมกันเป็นมัดเชื้อเพลิง (fuel assembly) เพื่อนำไปใช้งานในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ วัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์แสดงได้ดังรูป 1.2



รูปที่ 1.2 วัฏจักรการจัดการเชื้อเพลิงนิวเคลียร์[1]

พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในแกนปฏิกรณ์เกิดจากปฏิกิริยาการแตกตัว (fission reaction) ของเชื้อเพลิงยูเรเนียม ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเรียกว่าปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ปฏิกิริยาลูกโซ่นี้สามารถบอกได้ถึงสภาวะของเครื่องปฏิกรณ์เพราะเป็นปฏิกิริยาที่ผลิตนิวตรอนให้กับระบบ ถ้านิวตรอนที่ผลิตได้ในรอบก่อนหน้าและในรอบปัจจุบันเท่ากันแสดงว่าระบบอยู่ในสภาวะวิกฤต (critical) คือ $k = 1$ ถ้านิวตรอนที่ผลิตได้ในรอบก่อนหน้ามีมากกว่านิวตรอนในรอบปัจจุบันแสดงว่าระบบอยู่ในสภาวะเหนือวิกฤต (super critical) คือ $k > 1$ และถ้านิวตรอนที่ผลิตได้ในรอบก่อนหน้ามีน้อยกว่านิวตรอนในรอบปัจจุบันแล้วแสดงว่าระบบอยู่ในสภาวะใต้วิกฤต (subcritical) คือ $k < 1$

การนำเชื้อเพลิงไปใช้นั้นค่าความหนาแน่นของฟิซไซล์ในเชื้อเพลิงจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เมื่อพิจารณาว่าเชื้อเพลิงคือยูเรเนียม จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงจะประกอบด้วยไอโซโทปต่าง ๆ ของยูเรเนียมซึ่งแต่ละไอโซโทปนั้นจะมีค่าภาคตัดขวางจุลภาคสำหรับการดูดกลืนนิวตรอนและค่าคงที่การสลายตัวที่ต่างกัน ในกรณีของการดูดกลืนนิวตรอนไอโซโทปจะกลายเป็นไอโซโทปใหม่หรือเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวหรือสลายตัวกลายเป็นธาตุหรือไอโซโทปใหม่ สมบัติของไอโซโทปเดิมจะเปลี่ยนไปเป็นผลให้สมบัติของเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อคงสภาวะวิกฤตภายในเครื่องปฏิกรณ์ตลอดจนเพื่อรักษาค่าความหนาแน่นกำลัง จึงต้องมีการจัดเปลี่ยนเชื้อเพลิงในช่วงเวลาที่เหมาะสม โดยทั่วไปกำหนดระยะเวลาจัดเปลี่ยนเชื้อเพลิงประมาณทุก 12-18 เดือน

เมื่อทราบค่านิวตรอนฟลักซ์และค่าความหนาแน่นกำลังที่ต้องการจะผลิตสามารถคำนวณค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิง และสามารถประมาณปริมาณของธาตุอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นใหม่ภายในแท่งเชื้อเพลิงได้ จากข้อมูลดังกล่าวจะสามารถคำนวณค่าภาคตัดขวางมหภาคของการดูดกลืนและของการแตกตัวภายในเครื่องปฏิกรณ์เพื่อใช้คำนวณค่าวิกฤตในช่วงเวลาถัดไปได้ โดยการทำซ้ำของกระบวนการดังกล่าวนี้ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ที่ตั้งขึ้น จะสามารถกำหนดลักษณะการจัดเปลี่ยนเชื้อเพลิงที่เหมาะสมได้

สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษาการจัดการภายในแกนปฏิกรณ์ และทำการคำนวณค่าวิกฤตจากทฤษฎีการแพร่ของนิวตรอน (neutron diffusion theory) แบบหนึ่งกลุ่มพลังงานคือกลุ่มพลังงานช่วงเทอร์มัล (thermal energy) ซึ่งจะพิจารณาให้แปรค่าใน 2 มิติ ตามแนวแกน x และ y ส่วนแนวแกน z จะพิจารณาโดยกำหนดรูปแบบเฉพาะของฟังก์ชัน sine เมื่อเวลาที่เหมาะสมช่วงหนึ่งผ่านไปจะทำการคำนวณค่าความหนาแน่นของไอโซโทปของธาตุต่าง ๆ ในแกนปฏิกรณ์ซึ่งมีผลต่อค่าวิกฤต กระบวนการนี้จะทำซ้ำจนกระทั่งครบรอบระยะเวลาเปลี่ยนเชื้อเพลิงในวิทยานิพนธ์นี้จะเทียบผลที่ได้กับผลจากโปรแกรมการจัดเชื้อเพลิงในแกนปฏิกรณ์ BRACC[3] โดยที่การจัดการภายในแกนต้องคำนึงถึงความเหมาะสมว่าเชื้อเพลิงบริเวณใดควรนำออกจากเครื่องปฏิกรณ์หรือบริเวณใดควรย้ายตำแหน่ง ทั้งนี้เพื่อคงสภาวะวิกฤตของเครื่องปฏิกรณ์และเพื่อการใช้ทรัพยากรให้เหมาะสม คุ้มค่า ในการวิจัยนี้จะจำลองการจัดการภายในแกนเพื่อศึกษาค่าต่าง ๆ ที่น่าสนใจด้วยการคำนวณผ่านคอมพิวเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้คำนวณการจัดการเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบ 2 มิติและหนึ่งกลุ่มพลังงาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการจัดการเชื้อเพลิงภายในแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบ 2 มิติและหนึ่งกลุ่มพลังงาน

2. เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณผลกระทบจากการจัดการเชื้อเพลิงภายในแกนปฏิกรณ์ต่อค่ากำลังและค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้คำนวณการจัดการเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบ 2 มิติและหนึ่งกลุ่มพลังงาน

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณผลจากการจัดการเชื้อเพลิงภายในแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์ต่อค่ากำลังและค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิง
3. ตรวจสอบและปรับปรุงโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น
4. เปรียบเทียบผลที่ได้กับค่าทางทฤษฎี
5. สรุปและเขียนวิทยานิพนธ์

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง[4,5,6]

1. ยุทธพงศ์ บุษมงคล ทำการวิจัยเรื่อง แผนการจัดการเชื้อเพลิงในแกนปฏิกรณ์ ปปว. 1/1 เป็นการวิจัยเพื่อการกำหนดแผนการจัดการเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ในแกนปฏิกรณ์ ปปว. 1/1 เป็นแบบเซลทรงกระบอกเดี่ยว ในการศึกษาการจัดการเชื้อเพลิงแกนปฏิกรณ์ ปปว.1/1 ได้ใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์แบบเซลทรงกระบอกเดี่ยว (Cylindrical Unit Cell) ซึ่งเทียบเท่าได้กับเซลรูปแท่งหกเหลี่ยม (Hexagonal Unit Cell) ซึ่งเป็นลักษณะของแกนปฏิกรณ์ ปปว. 1/1 ได้ใช้แบบจำลองทำการคำนวณ ความสิ้นเปลืองเนื้อเชื้อเพลิงและค่าริแอคติวิตีของแกนปฏิกรณ์ (พ.ศ. 2529)

2. R. Van Geemert และคณะ ทำการวิจัยเรื่อง Research Reactor In-Core Fuel Management Optimiztion by Application of Multiple Cyclic Interchange Algorithms เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการหาแบบแผนที่จะทำการเปลี่ยนเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อการวิจัย ซึ่งมีขนาด 2 MWth เพื่อใช้ประโยชน์จากการจัดเชื้อเพลิงได้สูงสุด โดยใช้หลักการ multiple cyclic (ค.ศ. 1998)

3. Toshikazu Takeda และคณะ ทำการวิจัยเรื่อง Estimation of Error Propagation in Monte_Carlo Burnup Calculation เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการคำนวณหาค่าความผิดพลาดของการคำนวณการเผาผลาญเชื้อเพลิงของปฏิกรณ์นิวเคลียร์พลังงานสูง (fast reactor) โดยพิจารณาถึงค่าความผิดพลาดต่าง ๆ ของข้อมูลที่มีอยู่ เช่น ค่าต้นกำเนิด และค่าความผิดพลาดของความหนาแน่นของนิวไคล์ดต่าง ๆ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้คือความผิดพลาดของข้อมูลต่าง ๆ น้อยมากเมื่อเทียบกับความผิดพลาดของค่าภาคตัดขวาง (ค.ศ. 1999)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย