

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

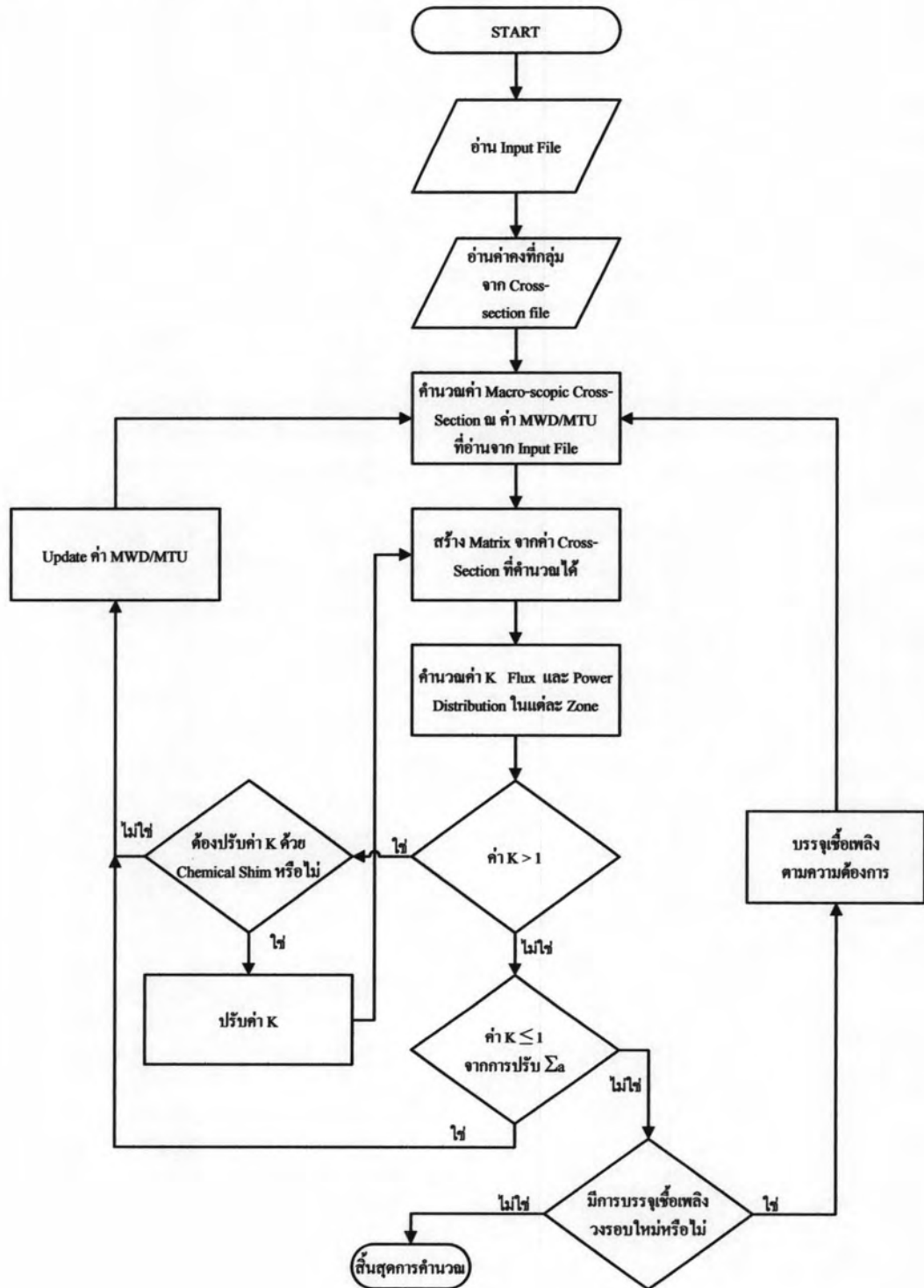
ในการพัฒนาโปรแกรมคำนวณแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์นั้น ได้เลือกใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี บนสภาพแวดล้อมไมโครซอฟต์วินโดวส์ (Microsoft Windows XP) สร้างโปรแกรมชื่อ “DENUMG” (Solving of Diffusion Equation using Numerical Method in Multi-Group : DENUMG) เพื่อคำนวณแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์ แบ่งเป็นการคำนวณต่าง ๆ คือ การคำนวณค่าวิกฤต (ค่า k) การคำนวณการกระจายนิวตรอนฟลักซ์ภายในแกน การคำนวณการกระจายความหนาแน่นกำลังที่เกิดขึ้น ในมัดเชื้อเพลิง (ค่าพิกกำลัง) การคำนวณการเผาผลาญเชื้อเพลิง (Burn-up) ค่าภาคตัดขวางมหภาคการดูดกลืนเพื่อใช้สำหรับเป็นสารเคมีควบคุม (Chemical shim) และการบรรจุเชื้อเพลิงแบบเป็นวงรอบ (Fuel cycle loading) ซึ่งทำการหาผลเฉลยของสมการการแพร่ นิวตรอนหลายกลุ่มพลังงานด้วยกระบวนการวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม และใช้วิธีการประมาณค่าในช่วงเพื่อคำนวณค่าภาคตัดขวางมหภาคที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการคำนวณ ส่วนการคำนวณหาค่าการกระจายความหนาแน่นกำลังและการกระจายนิวตรอนฟลักซ์นั้นจะใช้ทฤษฎีในบทที่สอง โดยการคำนวณแต่ละครั้งจะสามารถเลือกให้มีการปรับปรุณค่าวิกฤตให้มีค่าประมาณ 1.00 หรืออยู่ที่สถานะเหนือวิกฤตก็ได้ แต่เพื่อให้สอดคล้องกับสถานะการปฏิบัติการจริง จึงจำเป็นต้องปรับค่าภาคตัดขวางมหภาคการดูดกลืนให้ค่าวิกฤตมีค่าประมาณ 1.00 ก่อนทำการคำนวณพารามิเตอร์อื่น ๆ ต่อไป

3.1 การออกแบบโปรแกรมและแผนผังดำเนินการ (Flow chart)

ในการพัฒนาโปรแกรม จะอาศัยแผนผังดำเนินการดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ที่บรรจุในอินพุตไฟล์ จะบรรยายถึงขนาด คุณสมบัติมัดเชื้อเพลิง การบรรจุเชื้อเพลิง ค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิง และการจัดเปลี่ยนเชื้อเพลิง และจะให้เอาต์พุตไฟล์ออกมาสองชุดด้วยกัน คือเอาต์พุตที่ผู้ใช้กำหนด และเอาต์พุตที่โปรแกรมกำหนด เอาต์พุตที่ผู้ใช้กำหนดจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นการคัดลอกอินพุตไฟล์ไปไว้ยังเอาต์พุตไฟล์ก่อนทำการคำนวณ ค่าการกระจายความหนาแน่นกำลัง ค่าวิกฤต และค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิงสะสมของเชื้อเพลิงแต่ละมัดในวงรอบต่าง ๆ จะถูกบันทึกไว้ที่เอาต์พุตไฟล์ชื่อ mwdout.o และการกระจายนิวตรอนฟลักซ์จะถูกบันทึกไว้ที่เอาต์พุตไฟล์ชื่อ fluxout.o การเรียกใช้โปรแกรมสามารถทำได้เข้าไปที่ Command Prompt แล้วป้อนคำสั่ง

“DENUMG อินพุตไฟล์ เอาต์พุตไฟล์”

อินพุตและเอาต์พุตไฟล้จะต้องพิมพ์ให้สมบูรณ์ทั้งหมด



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินการ

3.1.1 โครงสร้างอินพุตไฟล์

การสร้างอินพุตไฟล์สามารถทำได้ด้วยโปรแกรม Notepad หรือ Wordpad หรือโปรแกรมอื่นที่มีสามารถสร้างเท็กซ์ไฟล์ได้ โดยมีข้อกำหนดในการสร้างดังนี้

3.1.1.1 การสร้างหมายเหตุทำได้โดยใส่เครื่องหมาย # ไว้ที่ตำแหน่งแรกสุดของบรรทัด หมายความว่าที่บรรทัดนั้นจะไม่มีผลในการคำนวณ

3.1.1.2 บัทรินพุต A ระบุข้อมูลขนาดของแกนปฏิกรณ์ฯ [R3 I4]

(XDIM) ขนาดของแกนปฏิกรณ์ฯ ตามแกน X ในหน่วย เซนติเมตร (cm)

(DIMY) ขนาดของแกนปฏิกรณ์ฯ ตามแกน Y ในหน่วย เซนติเมตร (cm)

(DIMZ) ขนาดของแกนปฏิกรณ์ฯ ตามแกน Z ในหน่วย เซนติเมตร (cm)

(NX) จำนวนเซลล์ที่แบ่งตามแกน X

(NY) จำนวนเซลล์ที่แบ่งตามแกน Y

(NZ) จำนวนเซลล์ที่แบ่งตามแกน Z

(MATCOUNT) จำนวนเซลล์ที่เป็นเชื้อเพลิง

3.1.1.3 บัทรินพุต B ค่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน [R2]

(FERR) ค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับรอบการคำนวณฟลักซ์ (0.0001)

(KERR) ค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับรอบการคำนวณค่าวิกฤต (0.00001)

3.1.1.4 บัทรินพุต C ค่ากำลังเทอร์มัลของแกนปฏิกรณ์ [R1]

(POWER) ในหน่วย เมกกะวัตต์ (MW)

3.1.1.5 บัทรินพุต D จำนวนกลุ่มพลังงาน [I1]

(ENERGY_GROUP)

3.1.1.6 บัทรินพุต E การบรรจุเชื้อเพลิง [I1*NX*NY*NZ]

จำนวน CELL = NX x NY x NZ

3.1.1.7 บัทรินพุต F ที่เก็บไฟล์ข้อมูลค่าคงที่ภาคตัดขวางมหภาค [A80]

3.1.1.8 บัทรินพุต G ตัวเลือกสำหรับคำนวณการหมดไปของเชื้อเพลิง [I1]

(BURNOPT) ค่า 0 แทนการไม่คำนวณ ค่า 1 แทนการคำนวณ

- 3.1.1.9 บัตรอินพุต H ตัวเลือกสำหรับปรับปรุงค่าวิกฤต = 1 โดยปรับค่า
ภาคตัดขวางมหภาคการคูดกลืน [I1]
(SHIMOPT) ค่า 0 แทนการไม่คำนวณ ค่า 1 แทนการคำนวณ
- 3.1.1.10 บัตรอินพุต I วงรอบสำหรับคำนวณการหมดไปของเชื้อเพลิง [I2]
(BURNTIME) จำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ
(BURNINTERVAL) ช่วงเวลาในแต่ละรอบการคำนวณมีหน่วยเป็นวัน
- 3.1.1.11 บัตรอินพุต J ปริมาณยูเรเนียมที่บรรจุมีหน่วยเป็นเมตริกตัน [R1]
- 3.1.1.12 บัตรอินพุต K ค่าการหมดไปของเชื้อเพลิงสะสมมีหน่วยเป็น เมกกะวัตต์วัน
ต่อเมตริกตันของยูเรเนียม [R1]
(MWD/MTU) จำนวน MATCOUNT x NZ,
- 3.1.1.13 บัตรอินพุต L ตัวเลือกสำหรับการปรับตำแหน่งเชื้อเพลิง [I1]
(LOADOPT) ค่า 0 ไม่มีการเคลื่อนย้ายเชื้อเพลิง ค่า 1 มีการเคลื่อนย้าย
เชื้อเพลิง
- 3.1.1.14 บัตรอินพุต M ตัวเลือกสำหรับสั่งให้บันทึกนิวตรอนฟลักซ์โปรไฟล์ [I1]
ถ้าค่า FLUXOPT เท่ากับ 1 จะ บันทึกค่าฟลักซ์โปรไฟล์ไว้ในไฟล์ชื่อ
(fluxout.o)
- 3.1.1.15 บัตรอินพุต N จำนวนรอบการบรรจุเชื้อเพลิงตามรูปแบบที่กำหนด [I1]
ค่าเท่ากับ 1 ถ้า LOADOPT = 0 และ เท่ากับ N วงรอบ ถ้า LOADOPT = 1
- 3.1.1.16 ลักษณะการบรรจุเชื้อเพลิง [I3 * MATCOUNT]
(PREVLOAD) ตำแหน่งเดิมของแท่งเชื้อเพลิง (ถ้า M1 เท่ากับ 0 จะเป็นการ
โหลดเชื้อเพลิงใหม่)
(NEXTLOAD) ตำแหน่งใหม่ที่ต้องการนำเชื้อเพลิงไปบรรจุ
(MATNLOAD) ชนิดของเชื้อเพลิงที่นำมาบรรจุ

ตัวอย่างอินพุตไฟล์แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

3.1.2 โครงสร้างไฟล์ค่าคงที่กลุ่ม

ไฟล์ภาคตัดขวางมหภาคจะประกอบด้วยค่าภาคตัดขวางมหภาค คือ

- ค่าภาคตัดขวางมหภาคการผลิตนิวตรอน $v\Sigma_f$ (MACvEf)
- ค่าภาคตัดขวางมหภาคการเกิดฟิชชัน Σ_f (MACEf)
- ค่าภาคตัดขวางการจับ Σ_c (MACEc)
- ค่าภาคตัดขวางมหภาคการดูดกลืน Σ_a (MACEa)
- ค่า χ (CHI)

- ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ค่าที่ 1 (DIFFCO1)

- ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ค่าที่ 2 (DIFFCO2)

สัมประสิทธิ์การแพร่ทั้งสองค่าได้จากการคำนวณต่างวิธีกันแต่มีค่าใกล้เคียงกัน เป็นการยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการผลิตค่าคงที่ภาคตัดขวางมหภาค

- ค่าภาคตัดขวางมหภาครวม Σ_t (MACEt)
- และค่าภาคตัดขวางการกระตุ้น Σ_{AC} (MACAc)
- ค่าภาคตัดขวางการกระเจิง $\Sigma_{g'g}$ (MACEs)

ค่าคงที่ภาคตัดขวางมหภาคนี้จะถูกจัดเรียงเป็นรูปแบบตารางโดยจัดเรียงตามกลุ่มจากกลุ่มพลังงานสูงไปกลุ่มพลังงานความร้อน และเรียงตามการเผาผลาญเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงใหม่ไปยังการเผาผลาญเชื้อเพลิงสูงสุด สามารถแสดงได้ดังนี้

3.1.2.1 บัตรอินพุต XS1 จำนวนองค์ประกอบที่แตกต่างกันที่ต้องการนำไปใช้ในการคำนวณ [I2]

จำนวน Material : MATNUM

จำนวนขั้นที่เผาผลาญ : BURNUP STEPS

3.1.2.2 บัตรอินพุต XS2 ค่าการเผาผลาญแต่ละ STEP ในหน่วย MWD/MTU [R*BUSTEPS]

STEP1 STEP2 ... STEPn

3.1.2.3 บัตรอินพุต XS3 หมายเลขวัสดุและลำดับขั้นการเผาผลาญ [I2]

หมายเลขของวัสดุที่ต่างกัน (MATID)

ขั้นของการเผาผลาญ (MTUSTEP)

3.1.2.4 บัทรินพุต XS4 ค่าคงที่ภาคตัดขวางมหภาค

$$\text{กลุ่มที่ 1 } v\Sigma_{f1} \quad \Sigma_{f1} \quad \Sigma_{c1} \quad \Sigma_{a1} \quad \chi_1 \quad D_{11} \quad D_{12} \quad \Sigma_{t1} \quad \Sigma_{AC1}$$

$$\text{กลุ่มที่ 2 } v\Sigma_{f2} \quad \Sigma_{f2} \quad \Sigma_{c2} \quad \Sigma_{a2} \quad \chi_2 \quad D_{21} \quad D_{22} \quad \Sigma_{t2} \quad \Sigma_{AC2}$$

$$\vdots$$

$$\text{กลุ่มที่ } g \quad v\Sigma_{fg} \quad \Sigma_{fg} \quad \Sigma_{cg} \quad \Sigma_{ag} \quad \chi_g \quad D_{g1} \quad D_{g2} \quad \Sigma_{tg} \quad \Sigma_{ACg}$$

การวางค่าภาคตัดขวางมหภาคการกระเจิงจากกลุ่ม g' ไปกลุ่ม g

$$\Sigma_{11} \quad \Sigma_{12} \quad \cdots \quad \Sigma_{1g}$$

$$\Sigma_{21} \quad \Sigma_{22} \quad \cdots \quad \Sigma_{2g}$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots$$

$$\Sigma_{g'1} \quad \Sigma_{g'2} \quad \cdots \quad \Sigma_{g'g}$$

บัทรินพุต XS3 และ XS4 จะใส่ซ้ำเท่ากับจำนวน MATNUM*BURNUP STEP

ตัวอย่างไฟล์ภาคตัดขวางและค่าคงที่กลุ่มแสดงไว้ในภาคผนวก ง.

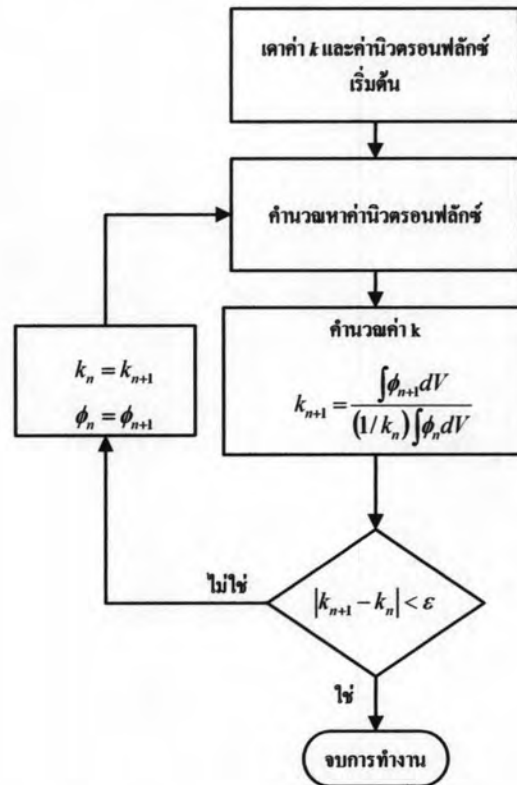
3.1.3 โครงสร้างเอาต์พุตไฟล์

เอาต์พุตไฟล์จะบรรจุข้อมูลที่โปรแกรมคำนวณได้ ประกอบด้วยค่าการกระจายฟลักกำลังภายในแกนปฏิกรณ์ฯ ในแต่ละขั้นตอนการเผาผลาญเชื้อเพลิง ค่าวิกฤต ค่าภาคตัดขวางมหภาคการดูดกลืนที่ใช้เป็นสารเคมีควบคุม ในส่วนต้นของไฟล์จะเป็นข้อมูลในอินพุตไฟล์ ซึ่งจะอยู่ระหว่างเครื่องหมาย <0>

ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลขาออกแสดงไว้ในภาคผนวก จ.

3.1.4 การคำนวณค่าวิกฤต

ในการคำนวณค่าวิกฤตจะอาศัยทฤษฎีการแพร่ โดยพจน์ใดในสมการที่มีความสัมพันธ์กับค่า $v\Sigma_f$ จะคูณด้วย $\frac{1}{k}$ และเนื่องจากค่าวิกฤต (k) เป็นค่าเดียวของทั้งระบบ ดังนั้นในการคำนวณจึงพิจารณาว่าค่า k ของสมการในกลุ่มใด ๆ เป็นค่า k เดียวกัน ซึ่งค่า k จะเปลี่ยนแปลงตามการกระจายค่านิวตรอนฟลักซ์ โดยสามารถหาค่าการกระจายตัวของนิวตรอนฟลักซ์ได้ตามแผนผังการดำเนินการในรูปที่ 3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ใช้ในการคำนวณค่าวิกฤตมีค่าเท่ากับ 0.00001 (ค่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในบัทรินพุต B ในอินพุตไฟล์)

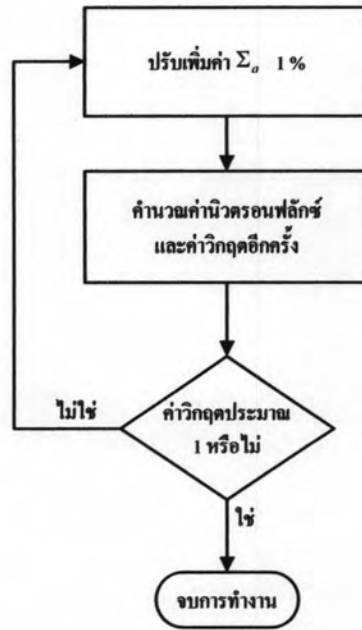


รูปที่ 3.2 แผนผังการคำนวณค่าวิกฤต

3.1.5 การปรับสารเคมีควบคุม (Chemical Shim Control)

สารเคมีควบคุมที่ปรับจะพิจารณาเฉพาะการปรับเปลี่ยนค่าภาคตัดขวางมหภาค การดูดกลืนในนิวตรอนกลุ่มพลังงานความร้อนทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาฟิชชันที่เกิดจะเกิดจากเทอร์มัลนิวตรอนเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม หากมีการแบ่งกลุ่มพลังงานของนิวตรอนออกเป็นมากกว่า 2 กลุ่ม จะถือว่านิวตรอนในช่วงพลังงานต่ำสุดคือกลุ่มนิวตรอนที่มีพลังงานระดับพลังงานความร้อน ซึ่งการเพิ่มค่าสารเคมีควบคุมนี้จะเพิ่มค่าไปที่ภาคตัดขวางมหภาคการดูดกลืนโดยตรง ในอัตราการเพิ่ม 1% ของค่าภาคตัดขวางมหภาคตามสมการที่ 3.1 แล้วทำการคำนวณค่าวิกฤตใหม่จนกระทั่งได้ค่าวิกฤตน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.001 จึงหยุดการปรับค่าสารเคมีควบคุม สามารถแสดงเป็นแผนผังการดำเนินการ ได้ดังรูปที่ 3.3

$$\Sigma_a^{(n+1)} = \Sigma_a^n + 0.01 \times \Sigma_a^n \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.3 แผนผังการคำนวณการปรับค่าภาคตัดขวางมหภาคการดูดกลืนแทนสารเคมีควบคุม

3.1.6 การคำนวณการกระจายนิวตรอนฟลักซ์

การกระจายตัวฟลักซ์ที่คำนวณได้จากการแก้ปัญหาในสมการการแพร่ของนิวตรอนนั้น ยังไม่ใช่ค่านิวตรอนฟลักซ์ที่เกิดขึ้นจริงในแกนปฏิกรณ์ฯ ทั้งนี้ค่าฟลักซ์ที่เกิดขึ้นจริงจะเป็นฟังก์ชันของกำลังของแกนปฏิกรณ์โดยสามารถหาได้จากสมการ

$$P = \int_V \omega \Sigma_f \phi dV \quad (3.2)$$

กำหนดให้ค่า Source Strength มีค่าเท่ากับ

$$S(V) = \frac{P}{\int_V \omega \Sigma_f \phi dV} \quad (3.3)$$

$$\Sigma_f \phi = \sum_{g=1}^G \Sigma_{fg} \phi_g \quad (3.4)$$

ที่ x, y, z ใด ๆ ในระบบพิกัดฉาก สามารถพิจารณาหาค่านิวตรอนฟลักซ์ที่ขึ้นกับค่ากำลัง ณ จุด นั้น ๆ ได้โดยใช้สมการ

$$\Phi(x, y, z) = S(V) \times \phi(x, y, z) \quad (3.5)$$

เมื่อ

P	คือ ค่ากำลังเทอร์มัล (Thermal Power)
ϕ	คือ Normalized Flux
Σ_f	คือ ค่าภาคตัดขวางมหภาคการแตกตัว
g	คือ กลุ่มของนิวตรอน
ω	คือ ค่าพลังงานที่ผลิตได้ต่อการแตกตัวหนึ่งครั้ง มีค่าประมาณ 200 MeV

สำหรับการคำนวณในระบบสองมิติ ค่ากำลังสามารถหาได้จากสมการ

$$P = \int_H \sin\left(\frac{\pi z}{H}\right) dz \int_A \int_E \omega \Sigma_f(E') \phi_A dE' dA \quad (3.6)$$

3.1.7 การคำนวณการกระจายความหนาแน่นกำลังพีก (Peak Power Factor)

การกระจายความหนาแน่นกำลังจะบอกเป็นค่าคงที่ค่ากำลังพีก (Peaking Power Factor) สามารถใช้สมการ 3.2 ถึงสมการ 3.5 ในการหาค่า

$$Peak = \frac{P_{FUEL}}{P_{avg}} \quad (3.7)$$

$$P_{fuel} = \int_z P_{cell}(z) dz \quad (3.8)$$

$$P_{avg} = \iiint P(x, y, z) dV \quad (3.9)$$

3.1.8 การคำนวณการเผาผลาญเชื้อเพลิง

เมื่อได้ค่านิวตรอนฟลักซ์ที่กระจายในแกนปฏิกรณ์ที่เชื้อเพลิงตำแหน่งต่าง ๆ แล้ว ทำให้สามารถหาค่ากำลังที่เกิดขึ้นในเนื้อเชื้อเพลิงที่ส่วนต่าง ๆ ซึ่งการคำนวณการเผาผลาญเชื้อเพลิง จะทำการคำนวณหาในแต่ละโหนดที่แบ่งแทนมัดเชื้อเพลิงในกรณีการคำนวณในระบบ 2 มิติ ตามแกน x และ y ส่วนในการคำนวณในระบบ 3 มิติ จะต้องกระทำทุกโหนดที่ได้แบ่งตามแกน x y และ z

$$B = \frac{P(x, y, z) \times TIME}{W_U} \quad (3.10)$$

เมื่อ

B	คือค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิง
$P(x, y, z)$	คือกำลังที่กระจายในเซลล์นั้น มีหน่วยเป็นเมกะวัตต์ความร้อน (Megawatt Thermal)

$TIME$ คือระยะเวลาในการเผาผลาญเชื้อเพลิง

W_U คือน้ำหนักของยูเรเนียมที่บรรจุในแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์

3.2 การคำนวณด้วยกระบวนการวิธีผลต่างสืบเนื่อง

พิจารณาสมการ 2.18 เมื่อนำมาเขียนกระจายออก โดยสมมติให้กลุ่มพลังงานของนิวตรอนที่สนใจมีสองกลุ่มพลังงาน และไม่มีค่าต้นกำเนิดนิวตรอนจากภายนอก ($S_{ext} = 0$) ฉะนั้นจากสมการ 2.17

$$-\nabla \cdot D_g \nabla \phi_g + \Sigma_{Rg} \phi_g = \sum_{g'=1}^{g-1} \Sigma_{sg'g} \phi_{g'} + \frac{1}{k} \chi_g \sum_{g'=1}^G v_{g'} \Sigma_{fg'} \phi_{g'}$$

กำหนดให้

$$S_g = \sum_{g'=1}^G v_{g'} \Sigma_{fg'} \phi_{g'}$$

สามารถเขียนเป็นสมการการแพร่สำหรับนิวตรอนสองกลุ่มพลังงานได้เป็น

กลุ่มที่ 1

$$-\nabla^2 \phi_1 + \frac{\Sigma_{R1}}{D_1} \phi_1 = \frac{(\Sigma_{s11} \phi_1 + \Sigma_{s21} \phi_2)}{D_1} + \frac{1}{k} \chi_1 \frac{S_1}{D_1} \quad (3.11)$$

กลุ่มที่ 2

$$-\nabla^2 \phi_2 + \frac{\Sigma_{R2}}{D_2} \phi_2 = \frac{(\Sigma_{s12} \phi_1 + \Sigma_{s22} \phi_2)}{D_2} + \frac{1}{k} \chi_2 \frac{S_2}{D_2} \quad (3.12)$$

นำกระบวนการวิธีผลต่างสืบเนื่องประยุกต์เข้ากับสมการที่ 3.11 และ 3.12 โดยแทน $\nabla^2 \phi$ ด้วย $\nabla^2 \Phi(x, y)$ ในกรณี 2 มิติ และ แทน $\nabla^2 \phi$ ด้วย $\nabla^2 \Phi(x, y, z)$ ในกรณี 3 มิติ ทำให้ได้

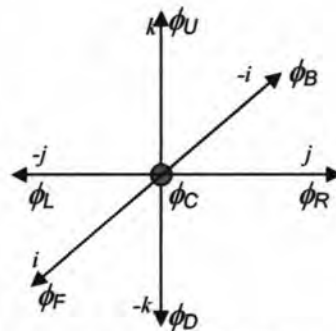
$$\nabla^2 \Phi_1(x, y) - \frac{\Sigma_{R1}}{D_1} \Phi_1(x, y) + \frac{(\Sigma_{s11} \Phi_1(x, y) + \Sigma_{s21} \Phi_2(x, y))}{D_1} = -\frac{1}{k} \frac{S_1}{D_1} \quad (3.13)$$

$$\nabla^2 \Phi_2(x, y) - \frac{\Sigma_{R2}}{D_2} \Phi_2(x, y) = -\frac{(\Sigma_{s12} \Phi_1(x, y) + \Sigma_{s22} \Phi_2(x, y))}{D_2} \quad (3.14)$$

$$\nabla^2 \Phi_g(x, y) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} \Phi_g(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \Phi_g(x, y) \quad (3.15)$$

กำหนด i, j, k ใด ๆ เป็น จุดในระบบพิกัดฉาก (x, y, z) และกำหนดให้

- ϕ_C แทน ฟลักซ์ที่จุด i, j, k
- ϕ_F แทน ฟลักซ์ที่จุด $i+1, j, k$
- ϕ_B แทน ฟลักซ์ที่จุด $i-1, j, k$
- ϕ_R แทน ฟลักซ์ที่จุด $i, j+1, k$
- ϕ_L แทน ฟลักซ์ที่จุด $i, j-1, k$
- ϕ_U แทน ฟลักซ์ที่จุด $i, j, k+1$
- ϕ_D แทน ฟลักซ์ที่จุด $i, j, k-1$



รูปที่ 3.4 การอ้างอิงตำแหน่งของฟลักซ์ที่ใช้กระบวนการวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม

หากแบ่งขนาดแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์ทางแกน x y และ z ออกเป็น nx ny และ nz ตามลำดับ แล้วพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตพบว่าที่จุด $i-1 < 0$ $j-1 < 0$ และ $k-1 < 0$ สามารถกำหนดให้ ฟลักซ์ที่ตำแหน่งดังกล่าว เป็นศูนย์ได้ ในลักษณะเดียวกัน เมื่อพิจารณาที่จุด $i+1 > nx$ $j+1 > ny$ และ $k+1 > nz$ ก็สามารถกำหนดให้จุดดังกล่าวเป็นศูนย์ได้เช่นกัน

สำหรับระบบพิกัดฉาก สองมิติ การแก้สมการการแพร่ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขผลต่างสี่เหลี่ยม จะพิจารณาให้แนวแกน z แทนด้วยค่าคงที่ B_z^2 และพิจารณาว่าฟลักซ์ที่เกิดขึ้นประกอบด้วยองค์ประกอบ 5 องค์ประกอบด้วยกัน คือ ϕ_C ϕ_F ϕ_B ϕ_L ϕ_R นอกจากนี้ค่า $\chi_1 = 1$ และ $\chi_2 = 0$ จะได้สมการ 3.16 และ 3.17

$$\frac{\phi_{F1}^{n+1} + \phi_{B1}^{n+1} - 2\phi_{C1}^{n+1}}{\Delta x^2} + \frac{\phi_{R1}^{n+1} + \phi_{L1}^{n+1} - 2\phi_{C1}^{n+1}}{\Delta y^2} + B_z^2 \phi_{C1}^{n+1} - \frac{\sum_{R1} \phi_{C1}^{n+1}}{D_1} + \frac{(\sum_{s11} \phi_{C1}^{n+1} + \sum_{s21} \phi_{C2}^{n+1})}{D_1} = -\frac{1}{k^n} \frac{S_1}{D_1} \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\phi_{F2}^{n+1} + \phi_{B2}^{n+1} - 2\phi_{C2}^{n+1}}{\Delta x^2} + \frac{\phi_{R2}^{n+1} + \phi_{L2}^{n+1} - 2\phi_{C2}^{n+1}}{\Delta y^2} + B_z^2 \phi_{C2}^{n+1} - \frac{\Sigma_{R2}}{D_1} \phi_{C1}^{n+1} \\ & = - \frac{(\Sigma_{s12} \phi_{C1}^n + \Sigma_{s22} \phi_{C2}^n)}{D_2} \end{aligned} \quad (3.17)$$

เมื่อ

$$\Delta x \text{ แทนการแบ่งเซลล์ย่อย ทางด้านแกน } x \text{ โดยมีค่าเป็น } \Delta x = \frac{W}{nx+1}$$

$$\Delta y \text{ แทนการแบ่งเซลล์ย่อย ทางด้านแกน } y \text{ โดยมีค่าเป็น } \Delta y = \frac{T}{ny+1}$$

สำหรับการคำนวณในระบบสามมิติ จะแทนค่าคงที่ B_z^2 ด้วย

$$\frac{\phi_{U2}^{n+1} + \phi_{D2}^{n+1} - 2\phi_{C2}^{n+1}}{\Delta z^2} \quad (3.18)$$

เมื่อ

$$\Delta z \text{ แทนการแบ่งเซลล์ย่อย ทางด้านแกน } z \text{ โดยมีค่าเป็น } \Delta z = \frac{H}{nz+1}$$

W T และ H แทนขนาดความกว้าง ยาว และสูง ของแกนปฏิกรณ์ฯ ตามลำดับ

จะเห็นว่าขนาดเมตริกซ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับ การแบ่งจำนวน nx ny และ nz และจำนวนกลุ่มพลังงานของนิวตรอนที่สนใจ โดยจะนำไปสู่การแก้สมการแบบวนซ้ำ (iterative scheme)

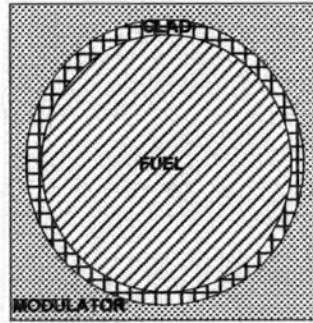
$$\mathbf{M}\Phi^{(n+1)} = \frac{1}{k^{(n)}} \mathbf{F}\Phi^{(n)} \quad (3.19)$$

โดยเมตริกซ์ \mathbf{M} มีขนาด $nx \times ny \times nz \times group$ ซึ่งส่วนใหญ่ค่าในแต่ละแถวของเมตริกซ์ \mathbf{M} (ในกรณี 2 มิติ จะแทนค่า $nz = 1$) ซึ่งวิธีการในการแก้สมการก็จะใช้กระบวนการวนซ้ำของเกาส์-ไซเดลตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อ 2.2.2 ข้อดีของการแก้สมการการแพร่ด้วยกระบวนการวนซ้ำเกาส์-ไซเดลคือเมตริกซ์ \mathbf{M} จะมีองค์ประกอบที่เป็น 0 อยู่มาก ซึ่งกระบวนการนี้ไม่จำเป็นต้องสร้างองค์ประกอบที่เป็น 0 ขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ลดขนาดและลดวงรอบการทำงานซ้ำลง และมีผลให้ระยะเวลาในการคำนวณลดลงด้วยเช่นกัน

3.3 การสร้างค่าคงที่ภาคตัดขวางมหภาค^[12]

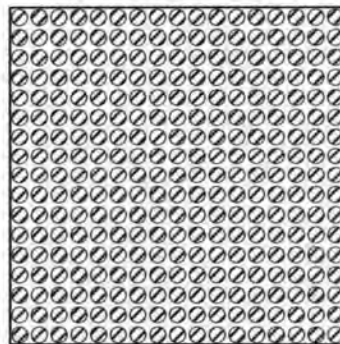
การสร้างค่าคงที่ภาคตัดขวางมหภาคจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SRAC เป็นเครื่องมือในการสร้าง โปรแกรม SRAC จะอ่านค่าภาคตัดขวางจาก ไลบรารี JENDL-3.3 แล้วทำการยุบรวมกลุ่ม (Collapse) จาก 107 กลุ่ม ไปเป็นจำนวนกลุ่มตามที่ระบุไว้ในอินพุตไฟล์ของ SRAC

ด้วยกระบวนการวิธี ความน่าจะเป็นในการชน (Collision Probability) เรียกว่าการคำนวณเซลล์ ในเซลล์หนึ่งจะประกอบด้วยประกอบด้วยเนื้อเชื้อเพลิง (Fuel) ภาชนะบรรจุเชื้อเพลิง (Clad) และสารหน่วงนิวตรอน (Moderator) รอบเชื้อเพลิงหลังจากนั้นจะทำให้เป็นเนื้อเดียว (Homogenized) เพื่อสร้างค่าภาคตัดขวางมหภาค ของเซลล์นั้นดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 โมเดลของเชื้อเพลิงที่นำมาหาค่าภาคตัดขวางมหภาค

ในการคำนวณเซลล์นี้ จะต้องระบุงบค้ประกอบของเชื้อเพลิงพร้อมความหนาแน่นอะตอม (Atomic density) ตามแต่การเสริมสมรรถนะของเชื้อเพลิงจากนั้นจะนำเซลล์ที่ได้มาจัดเรียงให้เป็นแบบมัดเชื้อเพลิง ในกรณีนี้จะจัดเรียงแท่งเชื้อเพลิง 17x17 เป็นหนึ่งมัด (แท่งเชื้อเพลิง 1 แท่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.26 เซนติเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และทำการ Homogenized อีกครั้งหนึ่งจะทำให้ได้ค่าคงที่กลุ่มที่สามารถนำไปใช้สำหรับคำนวณต่อไป



รูปที่ 3.6 โมเดลของมัดเชื้อเพลิงประกอบด้วยแท่งเชื้อเพลิง 17 x 17 แท่ง