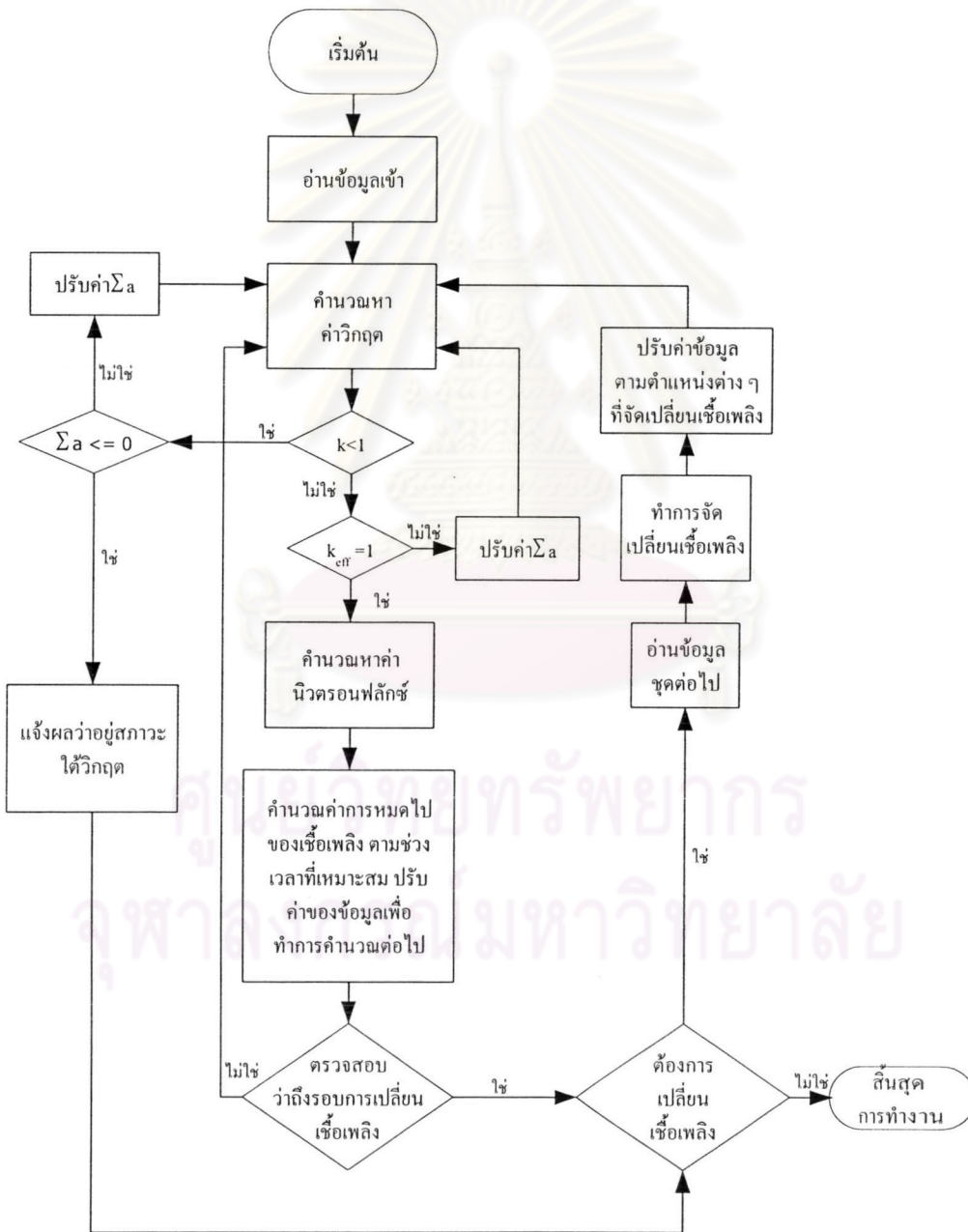


# บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 แผนผังในการเขียนโปรแกรม

ขั้นตอนของการเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณเป็นดังแผนผังการดำเนินงาน ดังแสดงตามรูป 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินของโปรแกรมคำนวณ

### 3.1.1 การกำหนดรูปแบบข้อมูลเข้า

ขั้นตอนแรกในการดำเนินการเขียนโปรแกรมคือต้องทำการกำหนดค่าข้อมูลเข้าในที่มีรูปแบบข้อมูลเข้าในโปรแกรมจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

7	คือ จำนวนค่ากริดของแกน $X$ และ $Y$
337.0	คือ ความกว้างของแกนปฏิกรณ์ (cm)
366.0	คือ ความสูงของแกนปฏิกรณ์ (cm)
3411.0	คือ ค่ากำลังเทอร์มัล (thermal power) (MWth)
2	คือ จำนวนแบตเตอรี่ที่ทำการบรรจุ
0000000	คือ ลักษณะการบรรจุเชื้อเพลิง
0011100	
0111110	
0111110	
0111110	
0011100	
0000000	
0.029	คือ ค่าการปรับปรุงยูเรเนียม 235

การบรรจุแบตเตอรี่ 0 ด้วยค่าการปรับปรุง 0.0 คือการแทนขอบของแกนปฏิกรณ์ และภายในมีการบรรจุเชื้อเพลิงมีการปรับปรุงเท่ากันทั้งแกน (ซึ่งสามารถกำหนดให้มีหลายแบตเตอรี่ได้) ส่วนข้อมูลชุดต่อ ๆ ไปสามารถจะกำหนดลักษณะการเปลี่ยนเข้าออกได้โดยอาศัยเลขประจำตำแหน่งของแกนปฏิกรณ์ ดังแสดงในรูป 3.2 ตำแหน่งที่เป็น 0 คือตำแหน่งขอบแกนปฏิกรณ์

0	7	14	21	28	35	42
0	0	0	0	0	0	0
1	8	15	22	29	36	43
0	0	1	1	1	0	0
2	9	16	23	30	37	44
0	1	1	1	1	1	0
3	10	17	24	31	38	45
0	1	1	1	1	1	0
4	11	18	25	32	39	46
0	1	1	1	1	1	0
5	12	19	26	33	40	47
0	0	1	1	1	0	0
6	13	20	27	34	41	48
0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 3.2 รูปแสดงตัวอย่างค่าตำแหน่งแกนปฏิกรณ์

โดยจะให้ค่าที่เป็นขอบแกนปฏิกรณ์เป็น 0 ส่วนตำแหน่งสามารถเคลื่อนย้ายตามเลขประจำตำแหน่ง (ต้องพิจารณาที่ขอบด้วย) ส่วนเชื้อเพลิงใหม่ที่จะทำการบรรจุเข้าจะกำหนดให้เป็นเลข ตั้งแต่ 999 ลงมาจนเป็น 990 (ให้บรรจุให้มากที่สุด 1 แเบตซ์) คือถ้าต้องการบรรจุเชื้อเพลิงใหม่ 2 แเบตซ์ แเบตซ์แรกคือ 999 ส่วนแเบตซ์สองคือ 998 ตามลำดับ

เพราะฉะนั้นถ้าต้องการเอามัดเชื้อเพลิงภายในออก 10 มัดแล้วใส่ของใหม่ลงขอบจะได้ข้อมูลเข้าสู่ชุดต่อไปดังต่อไปนี้

$$\begin{matrix}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 15 & 999 & 999 & 0 & 0 \\
 0 & 999 & 9 & 22 & 37 & 999 & 0 \\
 0 & 999 & 10 & 26 & 38 & 999 & 0 \\
 0 & 999 & 11 & 19 & 39 & 999 & 0 \\
 0 & 0 & 999 & 999 & 33 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{matrix}
 \left. \vphantom{\begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix}} \right\} \text{คือลักษณะของการที่จะบรรจุเชื้อเพลิงครั้งใหม่}$$

2.9 คือค่าการปรับปรุงยูเรเนียม235 ของเชื้อเพลิงใหม่

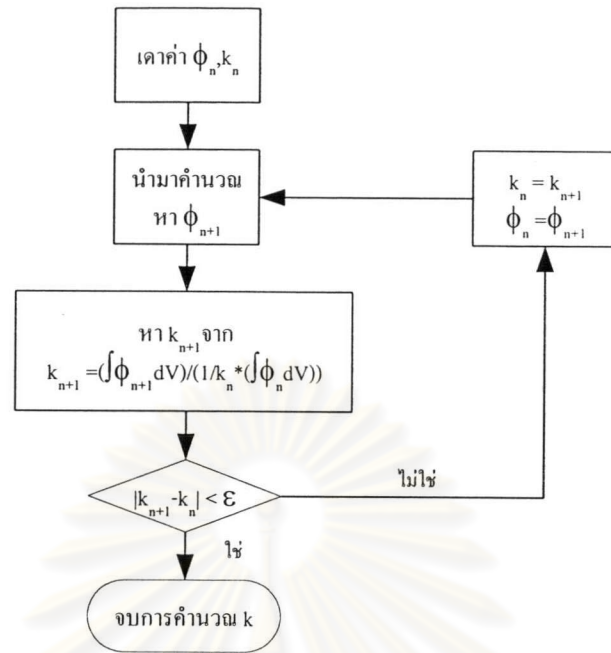
### 3.1.2 การกำหนดวิธีการคำนวณ

โปรแกรมมีค่าหลายค่าที่ต้องทำการคำนวณซึ่งได้แก่ การคำนวณค่าวิกฤต ค่าความหนาแน่นของไอโซโทปต่าง ๆ ค่านิวตรอนฟลักซ์ และค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิง

#### 3.1.2.1 วิธีการคำนวณค่าวิกฤต

การคำนวณค่าวิกฤตมีความสำคัญมากต่อการคำนวณภายในโปรแกรม เนื่องจากการคำนวณค่าวิกฤตจำเป็นต้องมีการคำนวณซ้ำเพื่อปรับค่าภาคตัดขวางมหภาคการดูดกลืนที่จะให้ค่าวิกฤตให้ได้เท่ากับ 1 เพื่อคำนวณหาค่านิวตรอนฟลักซ์ต่อไป การคำนวณค่าวิกฤตจะคำนวณได้จากสมการ 3.1 และมีลักษณะในการคำนวณดังแสดงโดยผังการดำเนินการในรูป 3.3

$$-\vec{\nabla} \cdot D\vec{\nabla}\phi_{n+1} + \Sigma_a\phi_{n+1} = \nu\Sigma_f\phi_n/k_n \tag{3.1}$$



รูปที่ 3.3 แผนผังการคำนวณค่าวิกฤต

จากสมการ 3.1 ค่าภาคตัดขวางมหภาคการดูดกลืนในการคำนวณในโปรแกรมสามารถแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ ภาคตัดขวางมหภาคการดูดกลืนจากไอโซโทปต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของเชื้อเพลิง  $\Sigma_a$  และภาคตัดขวางมหภาคการดูดกลืนของตัวควบคุม  $\Sigma_{ac}$  เนื่องมาจากการปรับแต่งแท่งควบคุม (control rod) หรือสารเคมีควบคุม (chemical shim) ภายในระบบ ซึ่งในโปรแกรมนี้กำหนดให้ ในการคำนวณนี้จะพิจารณาว่าภาคตัดขวางมหภาคการดูดกลืนของตัวควบคุมมีการกระจายตัวเท่ากันทั่วกันทั้งแกนปฏิกรณ์

$$\Sigma_a = \Sigma_a + \Sigma_{ac} \quad (3.2)$$

### 3.1.2.1 วิธีการคำนวณค่าความหนาแน่นไอโซโทป

ค่าความหนาแน่นของไอโซโทปต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อการคำนวณตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ในหัวข้อ 2.5 ซึ่งค่าความหนาแน่น การคำนวณค่าความหนาแน่นไอโซโทป จะทำการคำนวณเพื่อปรับค่าทุก ๆ รอบที่เวลาที่เหมาะสมซึ่งค่าความหนาแน่นของไอโซโทปจะขึ้นกับค่านิวตรอนฟลักซ์

### 3.1.2.2 วิธีการคำนวณค่านิวตรอนฟลักซ์

ค่านิวตรอนฟลักซ์ขึ้นอยู่กับค่ากำลังเทอร์มัล ซึ่งสามารถทำการคำนวณหาค่านิวตรอนฟลักซ์ได้จากสมการต่อไปนี้

$$P = \int_V \omega \Sigma_f \phi dV \quad (3.3)$$

$$P = \int_H \int_A \omega \Sigma_f \sin\left(\frac{\pi z}{H}\right) \phi_A dA dz \quad (3.4)$$

$$P = \int_H \sin \frac{\pi z}{H} dz \omega \sum_{i=1}^n \Sigma_{f_i} \phi_{A_i} \Delta A_i \quad (3.5)$$

$$P = \frac{2H}{\pi} \omega \phi_{\max} \sum_{i=1}^n \Sigma_{f_i} \phi_{A_i} \Delta A_i \quad (3.6)$$

$$\phi_{\max} = \frac{P\pi}{2H\omega \sum_{i=1}^n \Sigma_{f_i} \phi_{A_i} \Delta A_i} \quad (3.7)$$

นำค่า  $\phi_{A_i}$  คูณกับ  $\phi_{\max}$  จะได้ค่านิวตรอนฟลักซ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

อนึ่งเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ในการแพร่ (diffusion coefficient) มีผลต่อการคำนวณนิวตรอนฟลักซ์มาก เมื่อนำข้อมูลค่าภาคตัดขวางการกระเจิงของ  $^1H$  ในช่วงเทอร์มัลมาคำนวณเพียงอย่างเดียวจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่ได้จะมีค่าต่ำมาก แต่เมื่อพิจารณาการกระเจิงของนิวตรอนตั้งแต่เกิดขึ้นที่พลังงานสูงกระทั่งลดพลังงาน เนื่องด้วยการกระเจิงลงมาถึงพลังงานเทอร์มัล จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยจะมีค่าสูงขึ้นมาก โดยเหตุดังกล่าวจะไม่คำนวณค่าสัมประสิทธิ์แต่จะนำผลที่ได้จากแหล่งข้อมูลอื่นมาใช้ในการคำนวณนิวตรอนฟลักซ์โดยตรง

### 3.1.2.3 วิธีการคำนวณค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิง

ค่าการเผาผลาญคำนวณได้นำค่าความหนาแน่นไอโซโทปมาคำนวณหามวลของเชื้อเพลิงยูเรเนียม ( $m$  มีหน่วยเป็นกิโลกรัม) ซึ่งจะได้ค่าการเผาผลาญ ( $B$  มีหน่วยเป็น MWd/kg) เท่ากับ

$$B = \frac{T \times P}{m} \quad (3.8)$$

โดยที่  $T$  คือ ระยะเวลาที่ใช้งานเครื่องปฏิกรณ์ในหนึ่งรอบการเปลี่ยนเชื้อเพลิงมีหน่วยเป็นวัน

$P$  คือ ค่าความหนาแน่นกำลังมีหน่วยเป็น MWth

## 3.2 ผลต่างสปีนเนื่องของการคำนวณหาค่าวิกฤต

จากสมการ

$$-\nabla \cdot D\nabla \phi + \Sigma_a \phi = \frac{1}{k} \nu \Sigma_f \phi \quad (3.9)$$

ทำให้อยู่ในรูป 1 กลุ่มพลังงานและพิจารณา 2 มิติตามแนวภาคตัดขวางของแกนปฏิกรณ์ส่วนในแนวแกน  $Z$  จะพิจารณาให้เป็นค่าคงที่จะได้

$$\begin{aligned}
& - \left( \frac{\partial}{\partial x} \hat{e}_x + \frac{\partial}{\partial y} \hat{e}_y + \frac{\partial}{\partial z} \hat{e}_z \right) \cdot D \left( \frac{\partial}{\partial x} \hat{e}_x + \frac{\partial}{\partial y} \hat{e}_y + \frac{\partial}{\partial z} \hat{e}_z \right) \phi + \Sigma_a \phi \\
& = \frac{1}{k} \nu \Sigma'_r \phi'
\end{aligned} \tag{3.10}$$

$$- \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial}{\partial x} \phi \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( D \frac{\partial}{\partial y} \phi \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial}{\partial z} \phi \right) + \Sigma_a \phi = \frac{1}{k'} \nu \Sigma'_r \phi' \tag{3.11}$$

$$\begin{aligned}
& - \left( \frac{\partial}{\partial x} D \right) \left( \frac{\partial}{\partial x} \phi \right) - \left( \frac{\partial}{\partial y} D \right) \left( \frac{\partial}{\partial y} \phi \right) - D \frac{\partial^2}{\partial x^2} \phi - D \frac{\partial^2}{\partial y^2} \phi + DB_z^2 \phi + \Sigma_a \phi \\
& = \frac{1}{k'} \nu \Sigma'_r \phi'
\end{aligned} \tag{3.12}$$

สมการข้างต้นเมื่อแปลงให้อยู่ในรูปผลต่างสี่เหลี่ยม สำหรับ  $\Delta x$  และ  $\Delta y$  ใด ๆ จะเขียนได้เป็นโดยให้  $i$  แทนตำแหน่งในแนวระนาบ  $j$  แทนตำแหน่งในแนวตั้ง

$$\begin{aligned}
& - \left( \frac{D_{i+1,j} - D_{i-1,j}}{\Delta_{i+1,j} + \Delta_{i-1,j}} \right) \left( \frac{\phi_{i+1,j} - \phi_{i-1,j}}{\Delta_{i+1,j} + \Delta_{i-1,j}} \right) - \left( \frac{D_{i,j+1} - D_{i,j-1}}{\Delta_{i,j+1} + \Delta_{i,j-1}} \right) \left( \frac{\phi_{i,j+1} - \phi_{i,j-1}}{\Delta_{i,j+1} + \Delta_{i,j-1}} \right) \\
& - D_{i,j} \left( \frac{\phi_{i+1,j} - \phi_{i,j} - \phi_{i,j} - \phi_{i-1,j}}{\frac{\Delta_{i+1,j} + \Delta_{i-1,j}}{2}} \right) - D_{i,j} \left( \frac{\phi_{i,j+1} - \phi_{i,j} - \phi_{i,j} - \phi_{i,j-1}}{\frac{\Delta_{i,j+1} + \Delta_{i,j-1}}{2}} \right) \\
& + D_{i,j} B_z^2 \phi + \Sigma_{a,i,j} \phi_{i,j} = \frac{1}{k'} \nu \Sigma'_r \phi'_{i,j}
\end{aligned} \tag{3.13}$$

เมื่อพิจารณาสมการในกรณีต่าง ๆ ที่สนใจที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมด 16 กรณี จะแยกเขียนสมการของแต่ละกรณีได้ดังนี้ โดยที่

กรณีที่ 1 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกนปฏิกรณ์ทั้ง 4 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.4 เมื่อพิจารณาตามรูป 3.4 ตำแหน่งที่พิจารณาคือตำแหน่งที่ 5  $\phi_1$  คือค่านิวตรอนฟลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่านิวตรอนฟลักซ์โดยรวมทั้งสี่ด้านมีค่าเป็นศูนย์

$$\frac{8D_{i,j}\phi_{i,j}}{\Delta x^2} + \frac{8D_{i,j}\phi_{i,j}}{\Delta y^2} \Sigma_{a,i,j} \phi_{i,j} + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{k'} \nu \Sigma'_r \phi'_{i,j} \tag{3.14}$$

1	0	4	0	7	0
2	0	5	$\phi_1$	8	0
3	0	6	0	9	0

รูปที่ 3.4 กรณีติดขอบแกน 4 ด้าน

กรณีที่ 2 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาติดขอบแกน 3 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.5 ตำแหน่งที่พิจารณาคือตำแหน่งที่ 5  $\phi_2$  คือค่านิวตรอนฟลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i-1,j}$ ,  $\phi_{i,j-1}$  และ  $\phi_{i,j+1}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า

$$-\frac{4(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{9\Delta x^2} \phi_{i+1,j} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta x^2} \phi_{i+1,j} + \frac{4D_{i,j}}{\Delta x^2} \phi_{i,j} + \frac{8D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j} + \Sigma_{a,i,j} \phi_{i,j} + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{k'} v' \Sigma_f \phi'_{i,j} \quad (3.15)$$

กรณีที่ 3 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกน 3 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.5 ตำแหน่งที่พิจารณาคือตำแหน่งที่ 11  $\phi_4$  คือค่านิวตรอนฟลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i+1,j}$ ,  $\phi_{i,j-1}$  และ  $\phi_{i,j+1}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า

$$\frac{4(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{9\Delta x^2} \phi_{i-1,j} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta x^2} \phi_{i-1,j} + \frac{4D_{i,j}}{\Delta x^2} \phi_{i,j} + \frac{8D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j} + \Sigma_{a,i,j} \phi_{i,j} + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{k'} v' \Sigma_f \phi'_{i,j} \quad (3.16)$$

1	0	4	0	7	0	10	0	13	0
2	0	5	$\phi_2$	8	$\phi_3$	11	$\phi_4$	14	0
3	0	6	0	9	0	12	0	15	0

รูปที่ 3.5 กรณีติดขอบแกน 3 ด้านและ 2 ด้านตามแนวนอน

กรณีที่ 4 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกน 2 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.5 ตำแหน่งที่พิจารณาคือตำแหน่งที่ 8  $\phi_3$  คือค่านิวตรอนฟลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i,j-1}$  และ  $\phi_{i,j+1}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า

$$-\left(\frac{D_{i+1,j} - D_{i-1,j}}{2\Delta x}\right)\left(\frac{\phi_{i+1,j} - \phi_{i-1,j}}{2\Delta x}\right) - D_{i,j} \left(\frac{\phi_{i+1,j} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i-1,j}}{\Delta x^2}\right) + \frac{8D_{i,j}\phi_{i,j}}{\Delta y^2} + \Sigma_{a,i,j} \phi_{i,j} + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{k'} v' \Sigma_f \phi'_{i,j} \quad (3.17)$$

กรณีที่ 5 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกน 3 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.6 ตำแหน่งที่พิจารณาคือตำแหน่งที่ 7  $\phi_5$  คือค่านิวตรอนฟลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i-1,j}$ ,  $\phi_{i+1,j}$  และ  $\phi_{i,j-1}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า

$$\begin{aligned}
& -\frac{4(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{9\Delta y^2} \phi_{i,j+1} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta y^2} \phi_{i,j+1} + \frac{8D_{i,j}}{\Delta x^2} \phi_{i,j} + \frac{4D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j} + \Sigma_{a_{i,j}} \phi_{i,j} \\
& + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{k'} v' \Sigma_f' \phi_{i,j}
\end{aligned} \tag{3.18}$$

กรณีที่ 6 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกน 3 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.6 ตำแหน่งที่พิจารณา คือตำแหน่งที่ 9  $\phi_7$  คือค่านิวตรอนพลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i-1,j}$ ,  $\phi_{i+1,j}$  และ  $\phi_{i,j+1}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า

$$\begin{aligned}
& \frac{4(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{9\Delta y^2} \phi_{i,j-1} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta y^2} \phi_{i,j-1} + \frac{8D_{i,j}}{\Delta x^2} \phi_{i,j} + \frac{4D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j} + \Sigma_{a_{i,j}} \phi_{i,j} \\
& + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{k'} v' \Sigma_f' \phi_{i,j}
\end{aligned} \tag{3.19}$$

1	0	6	0	11	0
2	0	7	$\phi_5$	12	0
3	0	8	$\phi_6$	13	0
4	0	9	$\phi_7$	14	0
5	0	10	0	15	0

รูปที่ 3.6 กรณีติดขอบแกน 3 ด้านและ 2 ด้านตามแนวตั้ง

กรณีที่ 7 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกน 2 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.6 ตำแหน่งที่พิจารณา คือตำแหน่งที่ 8  $\phi_6$  คือค่านิวตรอนพลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i-1,j}$  และ  $\phi_{i+1,j}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า

$$\begin{aligned}
& -\left(\frac{D_{i,j+1} - D_{i,j-1}}{2\Delta y}\right)\left(\frac{\phi_{i,j+1} - \phi_{i,j-1}}{2\Delta y}\right) + \frac{8D_{i,j}\phi_{i,j}}{\Delta x^2} \\
& - D_{i,j}\left(\frac{\phi_{i,j+1} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i,j-1}}{\Delta y^2}\right) + \Sigma_{a_{i,j}} \phi_{i,j} + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{k'} v' \Sigma_f' \phi_{i,j}
\end{aligned} \tag{3.20}$$

กรณีที่ 8 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกน 2 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.7 ตำแหน่งที่พิจารณา คือตำแหน่งที่ 7  $\phi_8$  คือค่านิวตรอนพลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i-1,j}$  และ  $\phi_{i,j-1}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า



$$\begin{aligned}
& -\frac{4(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{9\Delta x^2} \phi_{i+1,j} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta x^2} \phi_{i+1,j} - \frac{4(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{9\Delta y^2} \phi_{i,j+1} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta y^2} \phi_{i,j+1} \\
& + \frac{4D_{i,j}}{\Delta x^2} \phi_{i,j} + \frac{4D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j} + \Sigma_{a_{i,j}} \phi_{i,j} + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{K} v' \Sigma_f' \phi_{i,j}'
\end{aligned} \quad (3.21)$$

กรณีที่ 9 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกน 2 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.7 ตำแหน่งที่พิจารณาคือตำแหน่งที่ 9  $\phi_8$  คือค่านิวตรอนพลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i-1,j}$  และ  $\phi_{i-1,j+1}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า

$$\begin{aligned}
& -\frac{4(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{9\Delta x^2} \phi_{i+1,j} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta x^2} \phi_{i+1,j} + \frac{4(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{9\Delta y^2} \phi_{i,j-1} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta y^2} \phi_{i,j-1} \\
& + \frac{4D_{i,j}}{\Delta x^2} \phi_{i,j} + \frac{4D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j} + \Sigma_{a_{i,j}} \phi_{i,j} + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{K} v' \Sigma_f' \phi_{i,j}'
\end{aligned} \quad (3.22)$$

กรณีที่ 10 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกน 2 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.7 ตำแหน่งที่พิจารณาคือตำแหน่งที่ 17  $\phi_{12}$  คือค่านิวตรอนพลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i+1,j}$  และ  $\phi_{i,j-1}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า

$$\begin{aligned}
& \frac{4(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{9\Delta x^2} \phi_{i-1,j} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta x^2} \phi_{i-1,j} - \frac{4(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{9\Delta y^2} \phi_{i,j+1} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta y^2} \phi_{i,j+1} \\
& + \frac{4D_{i,j}}{\Delta x^2} \phi_{i,j} + \frac{4D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j} + \Sigma_{a_{i,j}} \phi_{i,j} + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{K} v' \Sigma_f' \phi_{i,j}'
\end{aligned} \quad (3.23)$$

→  $i$

1	0	6	0	11	0	16	0	21	0
2	0	7	$\phi_6$	12	$\phi_9$	17	$\phi_{12}$	22	0
3	0	8	$\phi_7$	13	$\phi_{10}$	18	$\phi_{13}$	23	0
4	0	9	$\phi_8$	14	$\phi_{11}$	19	$\phi_{14}$	24	0
5	0	10	0	15	0	20	0	25	0

↓  $j$

รูปที่ 3.7 กรณีติดขอบแกน 2 ด้านตามมุม ติดขอบแกน 1 ด้าน และไม่ติดขอบแกน

กรณีที่ 11 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกน 2 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.7 ตำแหน่งที่พิจารณาคือตำแหน่งที่ 19  $\phi_{14}$  คือค่านิวตรอนพลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i+1,j}$  และ  $\phi_{i,j+1}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า

$$\begin{aligned}
& \frac{4(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{9\Delta x^2} \phi_{i-1,j} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta x^2} \phi_{i-1,j} + \frac{4(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{9\Delta y^2} \phi_{i,j-1} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta y^2} \phi_{i,j-1} \\
& + \frac{4D_{i,j}}{\Delta x^2} \phi_{i,j} + \frac{4D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j} + \Sigma_{a,i,j} \phi_{i,j} + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{K} v' \Sigma_r' \phi_{i,j}'
\end{aligned} \quad (3.24)$$

กรณีที่ 12 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกน 1 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.7 ตำแหน่งที่พิจารณาคือตำแหน่งที่ 8  $\phi_7$  คือค่านิวตรอนฟลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i-1,j}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า

$$\begin{aligned}
& -\frac{4(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{9\Delta x^2} \phi_{i+1,j} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta x^2} \phi_{i+1,j} + \frac{(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{4\Delta y^2} \phi_{i,j-1} - \frac{D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j-1} \\
& -\frac{(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{4\Delta y^2} \phi_{i,j+1} - \frac{D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j+1} + \frac{4D_{i,j}}{\Delta x^2} \phi_{i,j} + \frac{2D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j} + \Sigma_{a,i,j} \phi_{i,j} \\
& + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{K} v' \Sigma_r' \phi_{i,j}'
\end{aligned} \quad (3.25)$$

กรณีที่ 13 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกน 1 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.7 ตำแหน่งที่พิจารณาคือตำแหน่งที่ 18  $\phi_{13}$  คือค่านิวตรอนฟลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i+1,j}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า

$$\begin{aligned}
& \frac{(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{4\Delta x^2} \phi_{i-1,j} - \frac{D_{i,j}}{\Delta x^2} \phi_{i-1,j} - \frac{(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{4\Delta x^2} \phi_{i+1,j} - \frac{D_{i,j}}{\Delta x^2} \phi_{i+1,j} \\
& -\frac{4(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{9\Delta y^2} \phi_{i,j+1} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta y^2} \phi_{i,j+1} + \frac{2D_{i,j}}{\Delta x^2} \phi_{i,j} + \frac{4D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j} + \Sigma_{a,i,j} \phi_{i,j} \\
& + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{K} v' \Sigma_r' \phi_{i,j}'
\end{aligned} \quad (3.26)$$

กรณีที่ 14 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกน 1 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.7 ตำแหน่งที่พิจารณาคือตำแหน่งที่ 12  $\phi_9$  คือค่านิวตรอนฟลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i,j-1}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า

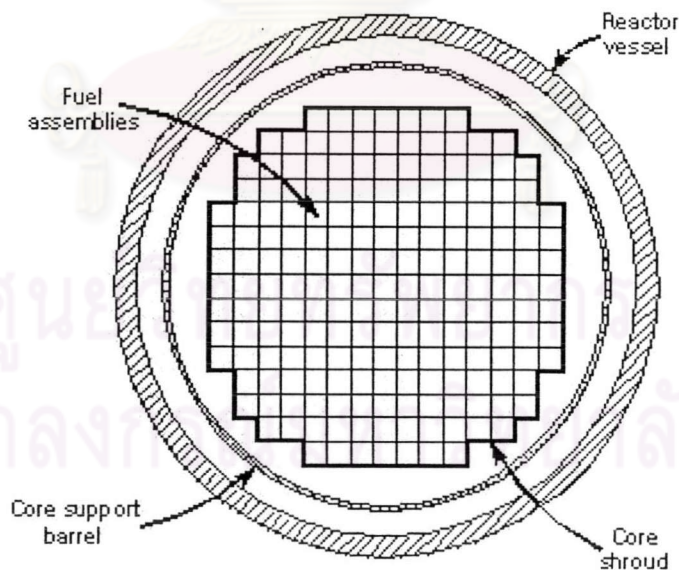
$$\begin{aligned}
& \frac{4(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{9\Delta x^2} \phi_{i-1,j} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta x^2} \phi_{i-1,j} + \frac{(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{4\Delta y^2} \phi_{i,j-1} - \frac{D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j-1} \\
& -\frac{(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{4\Delta y^2} \phi_{i,j+1} - \frac{D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j+1} + \frac{4D_{i,j}}{\Delta x^2} \phi_{i,j} + \frac{2D_{i,j}}{\Delta y^2} \phi_{i,j} + \Sigma_{a,i,j} \phi_{i,j} \\
& + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{K} v' \Sigma_r' \phi_{i,j}'
\end{aligned} \quad (3.27)$$

กรณีที่ 15 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ติดขอบแกน 1 ด้าน ดังแสดงในรูป 3.7 ตำแหน่งที่พิจารณาคือตำแหน่งที่ 14  $\phi_{11}$  คือค่านิวตรอนฟลักซ์ที่ต้องการคำนวณ กรณีนี้ค่า  $\phi_{i,j+1}$  เท่ากับ 0 จะได้สมการว่า

$$\begin{aligned} & \frac{(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{4\Delta X^2} \phi_{i-1,j} - \frac{D_{i,j}}{\Delta X^2} \phi_{i-1,j} - \frac{(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{4\Delta X^2} \phi_{i+1,j} - \frac{D_{i,j}}{\Delta X^2} \phi_{i+1,j} \\ & - \frac{4(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{9\Delta Y^2} \phi_{i,j-1} - \frac{4D_{i,j}}{3\Delta Y^2} \phi_{i,j-1} + \frac{2D_{i,j}}{\Delta X^2} \phi_{i,j} + \frac{4D_{i,j}}{\Delta Y^2} \phi_{i,j} + \Sigma_{a,i,j} \phi_{i,j} \quad (3.28) \\ & + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{K'} v' \Sigma_f \phi_{i,j} \end{aligned}$$

กรณีที่ 16 คือกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณาไม่อยู่ติดขอบแกนเลย ดังแสดงในรูป 3.7 ตำแหน่งที่พิจารณาคือตำแหน่งที่ 13  $\phi_{10}$  คือค่านิวตรอนฟลักซ์ที่ต้องการคำนวณ

$$\begin{aligned} & \frac{(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{4\Delta X^2} \phi_{i-1,j} - \frac{D_{i,j}}{\Delta X^2} \phi_{i-1,j} - \frac{(D_{i+1,j} - D_{i-1,j})}{4\Delta X^2} \phi_{i+1,j} - \frac{D_{i,j}}{\Delta X^2} \phi_{i+1,j} \\ & \frac{(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{4\Delta Y^2} \phi_{i,j-1} - \frac{D_{i,j}}{\Delta Y^2} \phi_{i,j-1} - \frac{(D_{i,j+1} - D_{i,j-1})}{4\Delta Y^2} \phi_{i,j+1} - \frac{D_{i,j}}{\Delta Y^2} \phi_{i,j+1} \quad (3.29) \\ & \frac{2D_{i,j}}{\Delta X^2} \phi_{i,j} + \frac{2D_{i,j}}{\Delta Y^2} \phi_{i,j} + \Sigma_{a,i,j} \phi_{i,j} + D_{i,j} B_z^2 \phi_{i,j} = \frac{1}{K'} v' \Sigma_f \phi_{i,j} \end{aligned}$$



รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างรูปแบบแกนที่ทำการคำนวณ

เมื่อพิจารณารูปแบบที่ต้องการจะจำลองซึ่งเสมือนแกนปฏิกรณ์จริง ๆ ดังแสดงในรูป 3.8 จะเห็นได้ว่ากรณีที่จะต้องพิจารณาคือที่มีจำนวนกริด (grid) เท่ากันทั้งในแกน  $X$  และ แกน  $Y$  เพราะฉะนั้นกรณีที่จะใช้ในการคำนวณคือกรณีที่ 1 และกรณีที่ 8 ถึงกรณีที่ 16

### 3.3 โปรแกรมBRACC

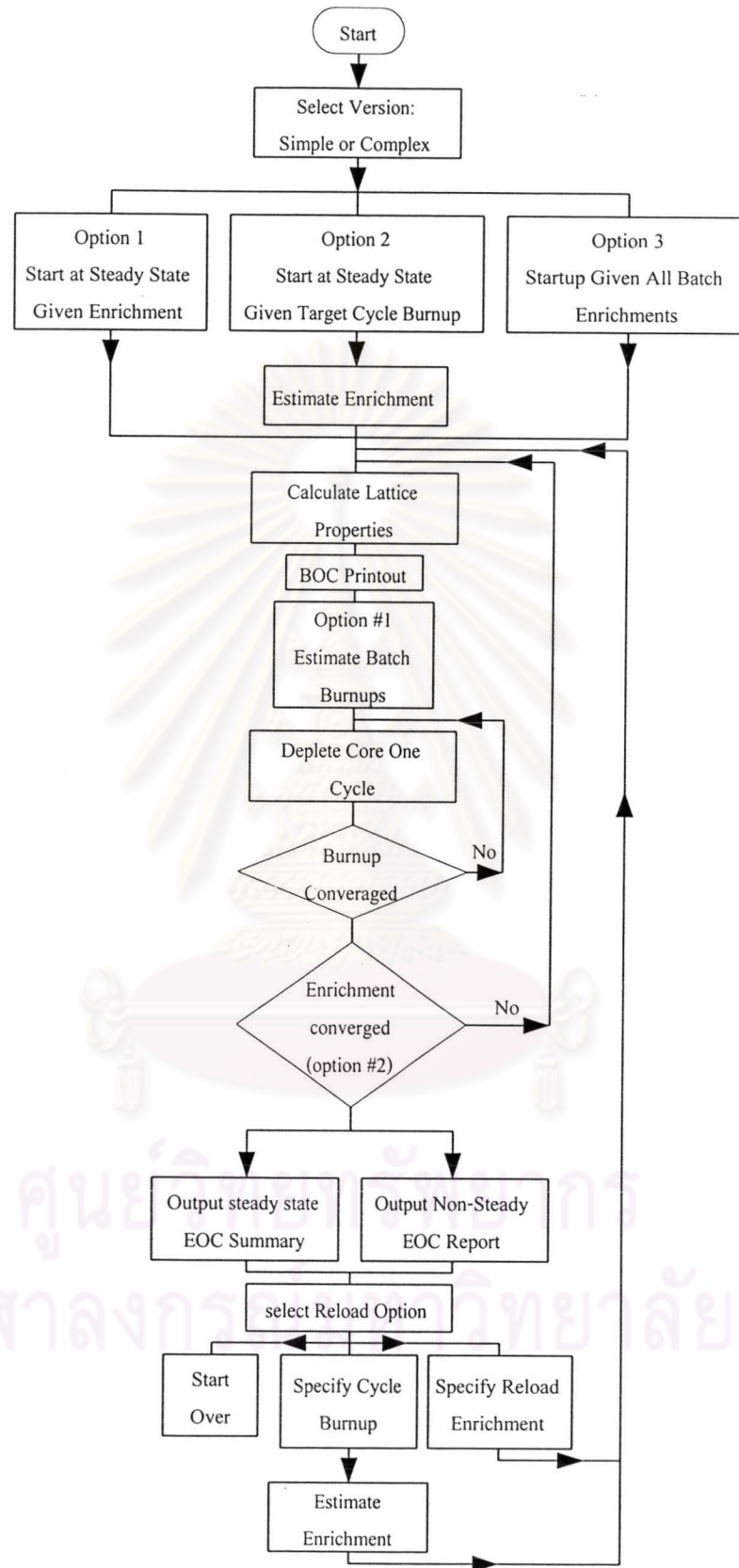
BRACC (Batch Reload and Cycle Coupling) เป็น โปรแกรมสำหรับคำนวณค่าการเผาผลาญของเชื้อเพลิง BRACC ทำการคำนวณระยะเวลาของรอบการปฏิบัติการ แผนผังการทำงาน ของ BRACC แสดงได้ดังรูป 3.9 BRACC จะวิธีการคำนวณ 2 วิธีการคือ

- แบบSimple จะกำหนดให้ทุก ๆ มัดเชื้อเพลิงค่ากำลังจะเท่ากันและไม่คำนึงถึงการรั่วไหลของนิวตรอนและค่าจากผลผลิตจากการแตกตัว
- แบบComplex จะมีการกระจายค่ากำลังไม่เท่ากัน และคำนึงถึงการรั่วไหลของนิวตรอนและค่าจากผลผลิตจากการแตกตัว

แบบ Complex มี 3 แบบที่จะทำการคำนวณได้

1. เริ่มต้นด้วยสถานะคงที่โดยต้องกำหนดค่าการปรับปรุงยูเรเนียม
2. เริ่มต้นด้วยสถานะคงที่โดยต้องกำหนดค่าการเผาผลาญที่ต้องการ
3. เริ่มต้นด้วยสถานะไม่คงที่ กรณีนี้ต้องกำหนดคุณสมบัติของแบตช์ จะแบ่งได้เป็น
  - บรรจุเพื่อให้ได้ค่าการเผาผลาญที่ต้องการ
  - บรรจุโดยระบุค่าการปรับปรุงยูเรเนียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 แผนผังในการทำงานของ BRACC