

### บทที่ 3

## แบบจำลองคณิตศาสตร์ของเครื่องลดความชื้นแบบหมุนโดยการดูดซับ

### 3.1 วิธีการลดความชื้น

วิธีการลดความชื้นของอากาศสามารถแบ่งได้ตามหลักการทำงานเป็นดังนี้ (13)

#### 3.1.1 วิธีการลดความชื้นโดยการทำให้เย็น

วิธีการลดความชื้นโดยการสัมผัสอากาศโดยตรงกับผนังวัสดุหรือผิวน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างของอากาศนั้น ในกรณีแรกของเหลวที่ใช้หล่อเย็น นอกจากจะใช้น้ำแล้วก็มีสารละลายน้ำของแคลเซียมคลอไรด์, แมกนีเซียมคลอไรด์, เกลือแกล เป็นต้น ในกรณีหลังยังแบ่งเป็นวิธีที่พ่นฝอยของเหลวเหล่านี้กับวิธีที่สัมผัสอากาศกับของเหลวโดยให้ไหลสวนทางกันในหอที่บรรจุแพคกิง วิธีพ่นฝอย ยังแบ่งออกเป็นแบบห้องพ่นฝอยในแนวระดับและแบบหอ วิธีนี้จะให้อากาศที่ทั้งอุณหภูมิต่ำและความชื้นต่ำ

#### 3.1.2 วิธีการลดความชื้นโดยการอัดความดัน

วิธีนี้อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อความดันรวมของก๊าซผสมมีค่าสูงขึ้น ความชื้นอิ่มตัวจะมีค่าน้อยลง เนื่องจากค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์ และค่าใช้จ่ายในด้านกำลังงานจะแพงทั้งคู่ ดังนั้น จะใช้วิธีนี้เฉพาะในกรณีที่จำเป็นต้องใช้ก๊าซความชื้นต่ำที่ความดันสูง วิธีนี้จะให้ความชื้นต่ำแต่ความดันสูง

#### 3.1.3 วิธีการลดความชื้นโดยการดูดกลืน

วิธีนี้จะใช้ดูดกลืนความชื้นที่เป็นของแข็ง (เช่น คัลเซียมคลอไรด์, ปูนขาว, ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์) หรือที่เป็นของเหลว (เช่น สารละลายในน้ำของ ลิเทียมคลอไรด์, ไครเอทิลีน ไกลคอล, กลีเซอริน) ในกลุ่มแรก จะใช้ชั้นบรรจุ (packed bed) เป็นต้น ส่วนในกลุ่มหลัง จะใช้หอพ่นฝอย (สเปรย์) ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตามมีความจำเป็นต้องฟื้นฟูสภาพสารดูดกลืน เพื่อนำกลับไปใช้ใหม่วิธีนี้จะได้อากาศความชื้นต่ำโดยไม่ต้องทำให้เย็น

#### 3.1.4 วิธีการลดความชื้นโดยการดูดซับ

วิธีนี้จะดูดซับไอน้ำออกจากอากาศชื้น โดยการป้อนอากาศชื้นผ่านชั้นบรรจุของสารดูดซับความชื้น หรือฟลูอิดซ์ออกไซด์เบคคองสารลดความชื้นจำพวกซิลิกา เจล , ถ่านกัมมันต์ (activate alumina), ดินขาวฤทธิ์กรด เป็นต้น แต่มีความจำเป็นต้องฟื้นฟูสภาพ (regenerate)

สารดูดซับความชื้นวิธีนี้จะได้อากาศความชื้นต่ำโดยไม่ต้องทำให้เย็นเช่นกัน ในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึง วิธลดความชื้นโดยการดูดซับ

### 3.2 ความรู้พื้นฐานของการดูดซับ

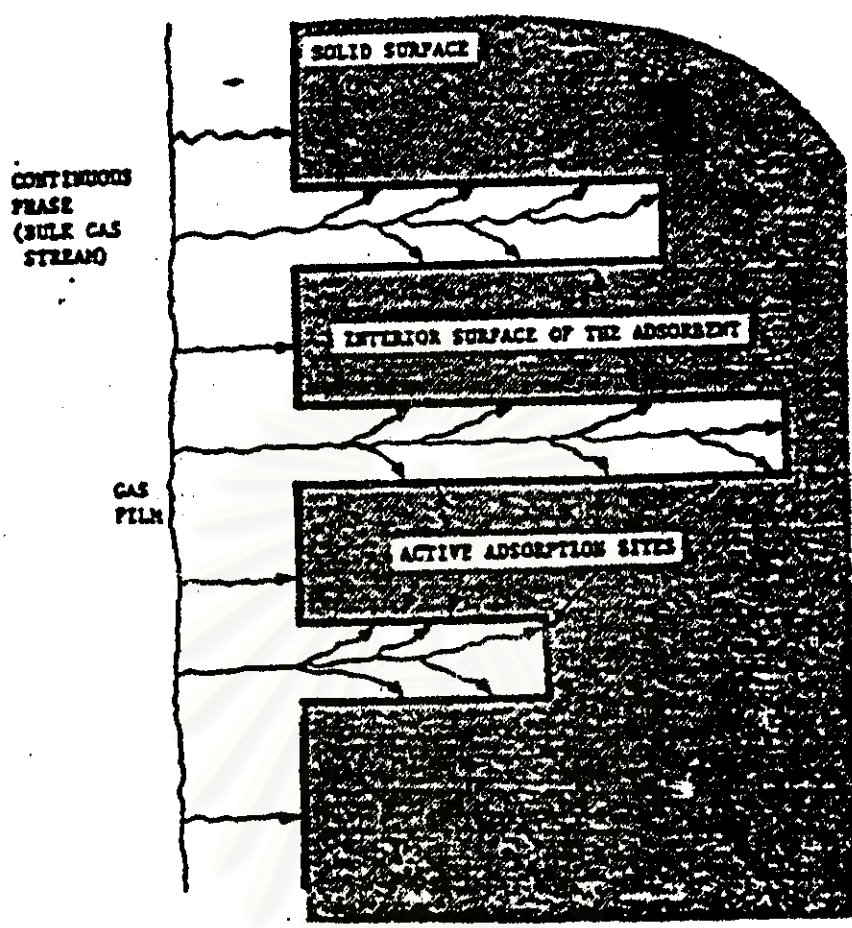
เมื่อมีสารสองชนิดมาสัมผัสกัน ปรากฏการณ์ที่โมเลกุลหรืออะตอมของสารกระทำกันที่ผิวสัมผัส ทำให้โมเลกุล หรืออะตอมมีความเข้มข้นเฉพาะบริเวณระหว่างผิวสัมผัสนั้น เรียกว่า การดูดซับ (Adsorption) ปกติแล้วการดูดซับมักเกิดขึ้น เมื่อสารใดสารหนึ่งเป็นของแข็ง พิจารณาระบบที่ประกอบด้วยก๊าซและของแข็ง ของแข็งที่สามารถดูดซับอะตอมหรือโมเลกุล ของก๊าซได้ เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) และเรียกก๊าซว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) เมื่อโมเลกุลก๊าซที่ถูกดูดซับไว้ หลุดออกจากผิวของสารดูดซับเข้าสู่ก๊าซหรือของเหลว เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การคายการดูดซับ (Desorption) การดูดซับบนผิวของแข็งเกิดขึ้นได้ทั้งภายใต้สภาวะนิ่ง (Static Condition) คือตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับอยู่นิ่ง และภายใต้สภาวะเคลื่อนที่ (Dynamic Condition) คือตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่สัมผัสกันในห้องกัน

#### 3.2.1 แรงการดูดซับ

การดูดซับแบ่งเป็นสองชนิดคือ การดูดซับทางเคมี (Chemisorption) และการดูดซับทางฟิสิกส์ (Physical Adsorption) ความแตกต่างของการดูดซับทั้งสองวิธีอยู่ที่แรงการดูดซับ

การดูดซับทางฟิสิกส์ เกิดเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจับบนผิวของแข็งด้วยแรงค่อนข้างอ่อน เป็นแรงชนิดเดียวกันกับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (Vander Waals Forces) เมื่ออยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โมเลกุลที่ถูกดูดซับยังมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนเดิม การดูดซับชนิดนี้สามารถดูดซับโมเลกุลได้หลายชั้น คือ แต่ละชั้นโมเลกุลจะเกิดบนชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ก่อนแล้ว

การดูดซับทางเคมี เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและผิวของสารดูดซับมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกัน หรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน พันธะที่เกิดขึ้นจึงเป็นพันธะทางเคมี การดูดซับโดยวิธีนี้จะแรงกว่าการดูดซับทางฟิสิกส์ บางครั้งการดูดซับต้องอาศัยพลังงานเข้าร่วมด้วยเรียกว่า Activated Adsorption ชั้นการดูดซับทางเคมีหนาเพียงโมเลกุลเดียว เพราะโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลบนผิวของสารดูดซับต้องสัมผัสกันโดยตรง และเกิดการถ่ายเทหรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน



รูปที่ 3.1 กระบวนการดูดซับ

การเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซมายังผิวภายนอกของอนุภาคของสารดูดซับ ถ้าระบบอยู่ในสถานะนิ่ง (Static Condition) ความดันก๊าซจะเท่ากันทั้งระบบ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซมายังผิวภายนอกเป็นวิธีการแพร่ธรรมดา (External Diffusion) ถ้าระบบอยู่ในสถานะเคลื่อนที่ (Dynamic Condition) จะเกิดความดันตกภายในระบบ เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซ จึงต้องพิจารณาทั้งการแพร่ (External Diffusion) และการไหลโดยวิธีพา (Convection Flow)

การเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซมายังผิวภายในรูพรุนเป็นกระบวนการแพร่ อาจโดยวิธีแพร่เข้าไปในรูพรุนหรือทางผิว (Surface migration) หรือโดยแรงแคปิลลารี (Capillary forces) ถ้ารูพรุนมีขนาดกว้างโมเลกุลก๊าซเคลื่อนที่เข้าไปโดยวิธีการพา (Convection flow) และแพร่ธรรมดา แต่ถ้าเป็นรูพรุนที่แคบ โมเลกุลก๊าซจะชนผนังของรูพรุนมากกว่าการชนกันเองระหว่างโมเลกุล โมเลกุลที่ชนบนผิวแล้วสะท้อนกลับสู่ภายนอกอนุภาคน้อยมาก แต่จะแพร่เข้าไปบนผิวภายในของอนุภาคช่วงเวลาหนึ่ง แล้วจึงกลับมาสู่ภายนอกโดยวิธีแพร่ออกทางผิว

### 3.2.3 ไดนามิกของการดูดซับ (Dynamic of Adsorption)

การนำสารดูดซับไปใช้ในการควบคุมปัญหามลพิษทางอากาศ โดยทั่วไปใช้ระบบการดูดซับทางไดนามิก กล่าวคือ ให้สารดูดซับบรรจุอยู่ในภาชนะหรือคอลัมน์และอยู่ในลักษณะนิ่ง ๆ (Fixed Bed) แล้วดูดอากาศหรือไอระเหยให้ไหลผ่าน ตลอดความลึกของภาชนะที่บรรจุสารดูดซับนั้น พิจารณาคอลัมน์สารดูดซับ ซึ่งให้ของเหลวที่ประกอบด้วยสารถูกดูดซับที่มีความเข้มข้นสม่ำเสมอ ไหลเข้าทางด้านบนและไหลออกทางด้านล่างคอลัมน์ด้วยอัตราความเร็วคงที่ ก่อนการใช้งานสารดูดซับทั้งคอลัมน์จะมีความไวต่อการดูดซับสูง เมื่อของไหลไหลผ่านคอลัมน์สารที่สามารถถูกดูดซับได้จะถูกจับและเกาะติดบนสารดูดซับนั้น ปรากฏการณ์การดูดซับในคอลัมน์ เมื่อการไหลดำเนินติดต่อกันภายใต้สภาวะคงที่สามารถอธิบายได้ด้วยภาพ 3.2



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางฟิสิกส์และทางเคมี

1. ขนาดความร้อนของการดูดซับ (Heat of Adsorption) เมื่อก๊าซถูกดูดซับบนผิวของสารดูดซับจะมีความร้อนถูกปล่อยออกมา ถ้าเป็นการดูดซับแบบฟิสิกส์ จะมีขนาดพอกับความร้อนที่ปล่อยออกมาในการกลั่นตัวจากก๊าซเป็นของเหลว ถ้าเป็นการดูดซับทางเคมีความร้อนของการดูดซับประมาณ  $10^4 - 10^5$  แคลอรีต่อโมล

2. อุณหภูมิการดูดซับ การดูดซับทางฟิสิกส์เกิดภายใต้สภาวะอุณหภูมิความดันที่เหมาะสมในระบบก๊าซ - ของแข็ง ขณะที่การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นเฉพาะเมื่อก๊าซสามารถเกิดพันธะเคมีกับผิว

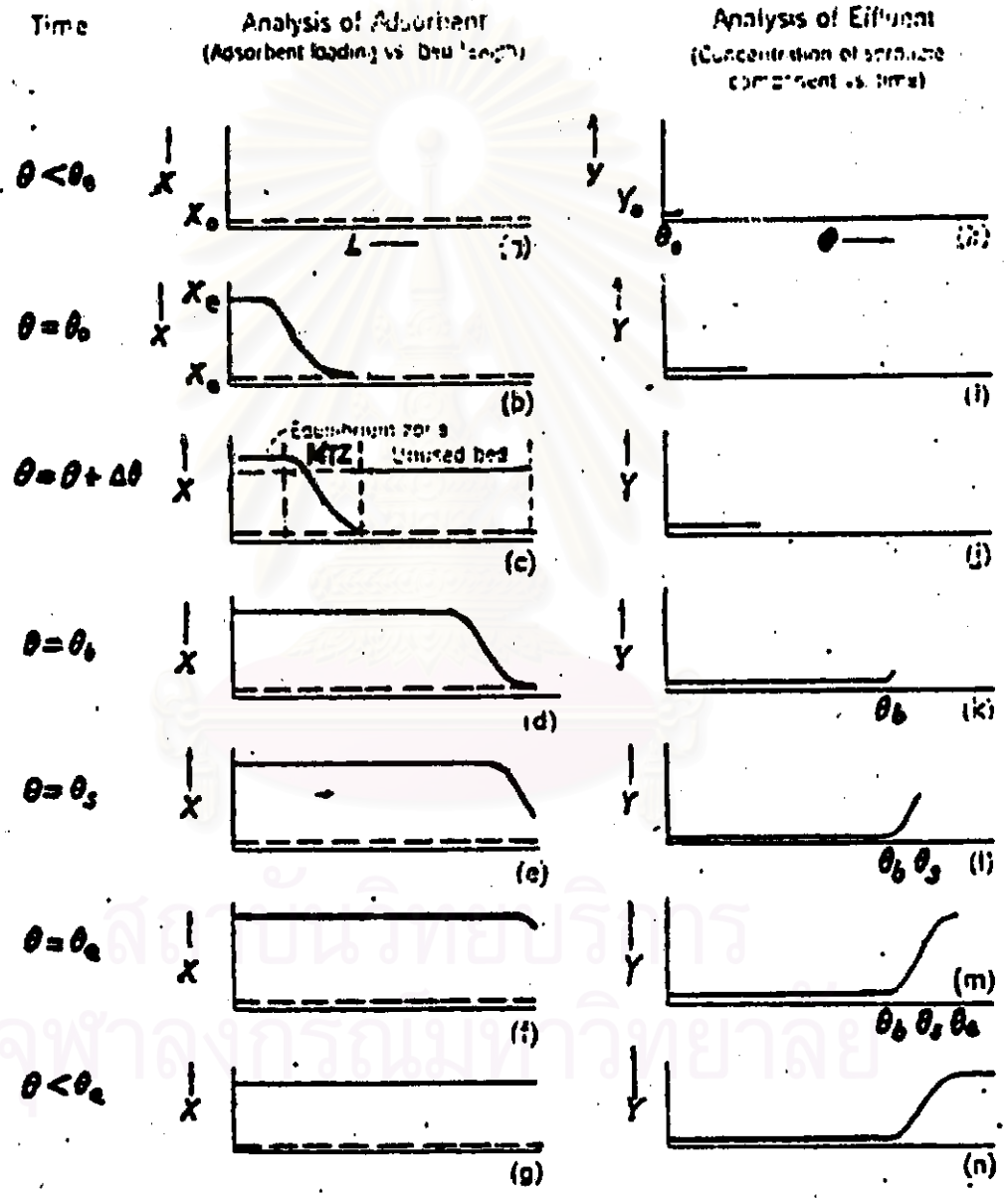
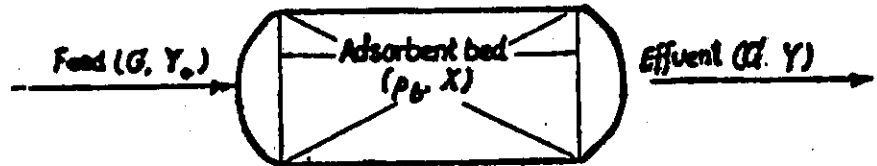
3. โมเลกุลที่ถูกดูดซับทางฟิสิกส์ สามารถทำให้หลุดจากผิวของสารดูดซับได้ด้วยวิธีลดความดันที่อุณหภูมิเดียวกับการเกิดการดูดซับ โดยโมเลกุลไม่เปลี่ยนแปลง การขจัดชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดโดยวิธีเคมีทำได้ยาก

4. จำนวนชั้นที่ถูกดูดซับ การดูดซับทางฟิสิกส์สามารถเกิดขึ้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับบนผิวซ้อนกันได้หลายชั้น แต่การดูดซับทางเคมีมักเกิดโมเลกุลที่ถูกดูดซับเพียงชั้นเดียว บางกรณีการดูดซับทางฟิสิกส์อาจเกิดขึ้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับทางเคมี

5. พลังงานเร่ง (Activating Energy) การดูดซับทางฟิสิกส์เกิดได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องอาศัยพลังงานช่วยเร่ง การดูดซับทางเคมีอาจเกิดได้ทันทีโดยทั่วไปแต่ต้องอาศัยพลังงานเร่ง

### 3.2.2 จลนศาสตร์ของการดูดซับ (Kinetics of Adsorption)

เมื่อสารดูดซับสัมผัสกับก๊าซหรือไอ จำนวนโมเลกุลของก๊าซจะลดลง อัตราที่จำนวนโมเลกุลของก๊าซลดลงขึ้นอยู่กับความเร็วของก๊าซที่วิ่งมาชนบนผิวตรงตำแหน่งดูดซับและอัตราความเร็วของกระบวนการดูดซับก๊าซบนผิว โดยปกติการดูดซับไอระเหยด้วยสารดูดซับ เช่น ถ่านปฏุกฤทธิ์ (activated carbon) จะเป็นการดูดซับทางฟิสิกส์ซึ่งมีอัตราความเร็วของการดูดซับบนผิวสูงมาก ดังนั้นปัจจัยที่ควบคุมอัตราการลดลงของจำนวนโมเลกุลในก๊าซ หรืออัตราความเร็วของการดูดซับ คืออัตราความเร็วของการเคลื่อนย้ายโมเลกุลก๊าซไปยังตำแหน่งผิวที่สามารถดูดซับได้ ในกรณีสารดูดซับมีโครงสร้างรูพรุนซับซ้อน การเคลื่อนย้ายโมเลกุลก๊าซมายังผิวดูดซับแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ โมเลกุลก๊าซเคลื่อนที่มาถึงผิวภายนอกก่อน แล้วจึงเคลื่อนที่เข้าไปยังผิวภายในรูพรุน ดังรูปภาพที่ 3.1



รูปที่ 3.2 ปรากฏการณ์การดูดซับของสารดูดซับในคอลัมน์ขณะที่ของไหลซึ่งประกอบ ด้วยสาร สามารถถูกดูดซับได้ไหลผ่าน

ในภาพ 3.2 เป็นความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับไว้ในคอลัมน์  $X_0$  เป็นความเข้มข้นก่อนใช้งาน  $X_e$  เป็นความเข้มข้นสูงสุด (ความเข้มข้นอิ่มตัว) ที่สารดูดซับสามารถดูดซับไว้ได้  $L$  เป็นความยาวของคอลัมน์สารดูดซับ  $Y$  เป็นความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในของไหลที่ไหลออกจากคอลัมน์ เมื่อของไหลไหลผ่านคอลัมน์ช่วงเวลาหนึ่งหลังจากเวลาเริ่มต้น ตอนต้นของคอลัมน์ซึ่งเป็นทางไหลเข้าของของไหล สารดูดซับจะดูดซับสารที่ถูกดูดซับได้ในของไหลไว้เรื่อย ๆ จนอิ่มตัว ส่วนของคอลัมน์ที่ถูกดูดซับสารไว้จนอิ่มตัวเรียกว่า เขตสมดุล (Equilibrium Zone) ถัดจากเขตสมดุลเป็นช่วงของคอลัมน์ที่ความเข้มข้นสารถูกดูดซับค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงจากความเข้มข้นอิ่มตัว ( $X_e$ ) ไปเป็นความเข้มข้นเดิม ( $X_0$ ) แทนด้วยรูปเส้นโค้งคล้ายตัว "S" ในรูป 3.2 (b) ในช่วงนี้สารถูกดูดซับจะเคลื่อนย้ายจากของไหลไปยังผิวดูดซับในสารดูดซับ คอลัมน์สารดูดซับช่วงที่เกิดมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับไว้เรียกว่า Mass Transfer- Zone (MTZ) และรูปเส้นโค้งที่มีรูปร่างคล้าย "S" ให้นิยามว่า Mass-transfer-wave ขณะที่การไหลดำเนินต่อไป ความยาวของเขตสมดุลจะเพิ่มขึ้นและ Mass-Transfer-Wave จะเคลื่อนที่ผ่านไปทางปลายคอลัมน์ด้วยอัตราความเร็วคงที่ โดยที่ลักษณะของ Mass-Transfer-Wave เหมือนเดิม แต่เคลื่อนที่ห่างออกไปจากคอลัมน์มากกว่า ถ้าให้การไหลดำเนินต่อไปอีก จนส่วนนำของคลื่น Mass-Transfer-Wave อยู่ตรงปลายคอลัมน์สารดูดซับพอดี เรียกว่าเกิด Breakthrough แสดงในรูป 3.2 (d)

Breakthrough Concentration อาจหมายถึงความเข้มข้นต่ำสุด หรือความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้ได้ของสารถูกดูดซับที่ไหลออกจากเครื่องดูดซับ และเวลาที่เกิด Breakthrough เรียกว่า Breakthrough Time ได้แก่  $\theta_0$  ในรูป 3.2 (d) ถ้าให้ของไหลไหลต่อไปจนส่วนนำของคลื่น Mass-Transfer-Wave อยู่ที่ปลายคอลัมน์พอดี สารดูดซับทั้งคอลัมน์จะอิ่มตัวด้วยสารถูกดูดซับ และอยู่ในสภาวะสมดุลกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในของไหลที่ไหลเข้าคอลัมน์ เรียกว่าคอลัมน์อยู่ในสมดุลแสดงในรูป 3.2 (f) และเวลาที่คอลัมน์อยู่ในสมดุลเรียกว่า เวลาสมดุล (Equilibrium Time) เมื่อคอลัมน์อยู่ในสมดุลแล้วจะไม่สามารถดูดซับสารได้อีกต่อไป

เมื่อพิจารณาของไหลที่ไหลออกจากคอลัมน์ ที่เวลาเริ่มต้นของไหลที่ไหลออกจากคอลัมน์จะประกอบด้วยสารถูกดูดซับมีความเข้มข้นเท่ากับ  $Y_0$  ซึ่งอยู่ในสภาวะสมดุลกับความเข้มข้น  $X_0$  จากเวลาเริ่มต้นจนถึง Breakthrough Time ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในของไหลที่ไหลออกจากคอลัมน์ยังคงเท่ากับ  $Y_0$  ตลอดแสดงในรูป 3.2 (k) ที่เวลา Breakthrough ซึ่งเป็นเวลาที่ส่วนนำของคลื่น Mass-Transfer-Wave มาถึงปลายคอลัมน์ ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในของไหลที่ไหลออกเริ่มเพิ่มขึ้น และจากเวลา Breakthrough ถึงเวลาสมดุล ( $\theta_0 - \theta_e$ ) ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในของไหลที่ไหลออกจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเท่ากับความเข้มข้นของสารดูดซับในของไหลที่ไหลเข้า ดังแสดงในรูป 3.2 (m) และ 3.2 (n)

### 3.3 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของการลดความชื้นแบบหมุนโดยการดูดซับ

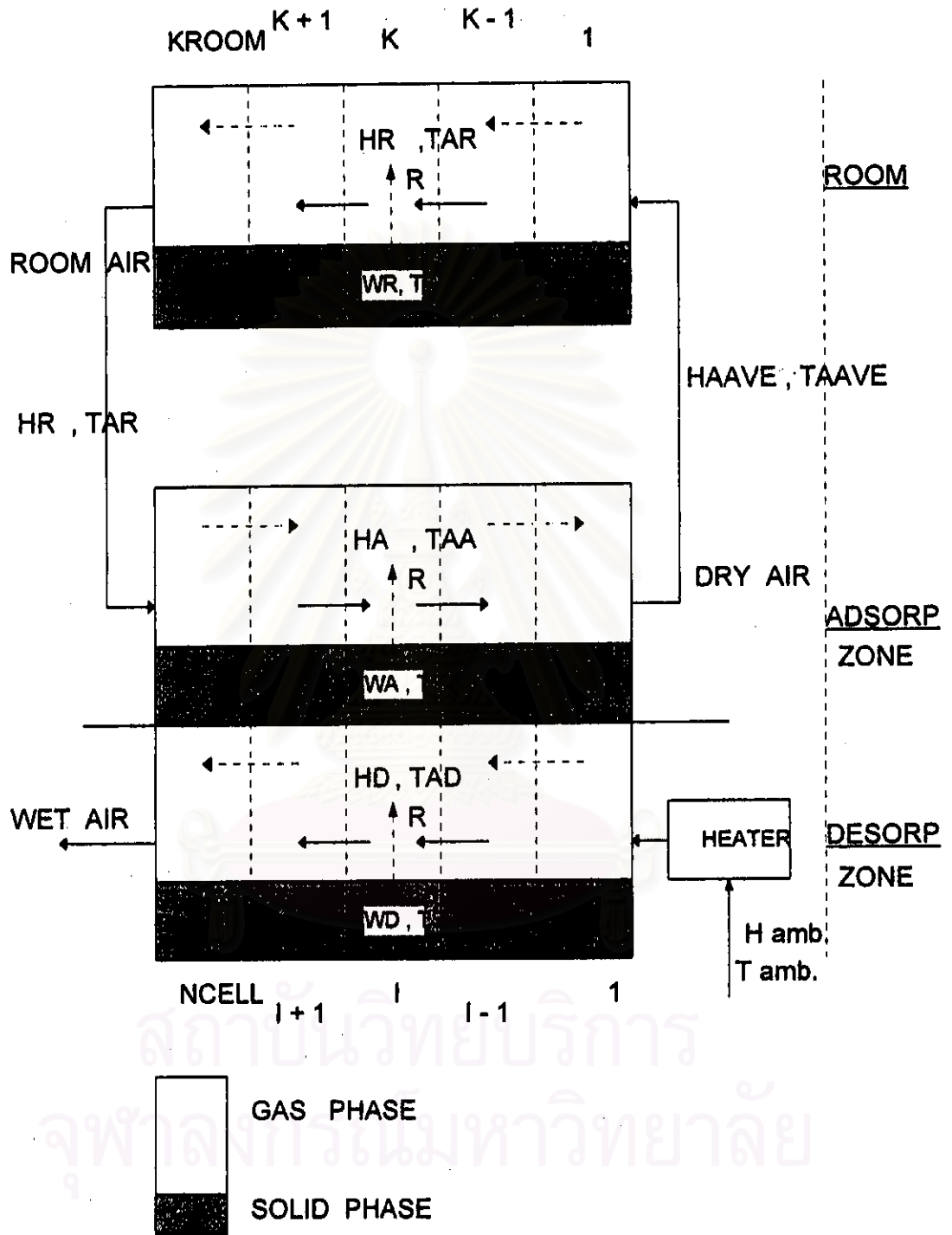
ในวิทยานิพนธ์นี้จะเสนอแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการลดความชื้นแบบหมุนโดยการดูดซับโดยการปฏิบัติการอย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้มาจากการอนุพันธ์สมการความสัมพัทธ์ระหว่างตัวแปรสำคัญต่อไปนี้ คือ ความชื้นวัสดุ, อุณหภูมิวัสดุ, ความชื้นอากาศ, อุณหภูมิอากาศของช่องที่คายความชื้นและดูดซับความชื้นในเครื่องลดความชื้น, ปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำบนผิวห้อง, ความชื้นและอุณหภูมิของอากาศภายในห้อง, เทียบกับเวลา นอกจากนี้ยังประเมินสมรรถนะการปฏิบัติงานของเครื่องลดความชื้น, ผลการจำลองยังใช้ประเมินกำลัง และพลังงานความร้อนที่ต้องใช้ในการอุ่นลมร้อน ก่อนปล่อยเข้าเครื่องลดความชื้นอีกด้วย

แบบจำลองนี้ใช้สมมติฐานว่าการไหลลมร้อนผ่านโรเตอร์ของวัสดุชื้น สามารถแทนได้โดยการเอาถังกวนสมบูรณ์ (complete stirred tank) ขนาดเท่ากันจำนวน  $N$  ถังมาต่ออนุกรมกัน โดยสมมติการไหลเป็นแบบลูกสูบ (plug flow model) ดังรูป 3.3

สมมติฐานแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีดังนี้

1. การไหลของลมร้อนเป็นแบบลูกสูบ และแต่ละช่องทางไหลของโรเตอร์แทนได้ด้วยถังกวนสมบูรณ์  $N$  ถัง ต่ออนุกรมกัน
2. ไม่มีการสูญเสียของความร้อนไปสู่สิ่งแวดล้อมผ่านผนังเครื่องลดความชื้น
3. เนื่องจากการไหลของลมร้อนเป็นแบบลูกสูบ จึงไม่มีเกรเดียนต์ของความชื้น และอุณหภูมิในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล
4. การนำความร้อนระหว่างชั้นวัสดุภายในโรเตอร์นั้น ถือว่ามีค่าน้อยมาก
5. การแพร่ (diffusion) ของความชื้นในทิศทางการไหลของลมร้อน ถือว่ามีค่าน้อยมากจนไม่คำนึงถึงเมื่อเทียบกับการถ่ายเทความชื้นโดยการไหล
6. ในระหว่างการลดความชื้น วัสดุชื้นจะไม่หดตัวหรือขยายตัว หรือเปลี่ยนรูปร่าง
7. คำนึงถึงขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการถ่ายเทความชื้นผ่านชั้นฟิล์มเท่านั้น ส่วนขั้นตอนอื่นไม่คำนึงถึงเพราะมีอัตราการเกิดขึ้นเร็วมาก
8. เนื่องจากการดูดซับทางฟิสิกส์ ปริมาณของความร้อนของการดูดซับอาจประมาณด้วยปริมาณของความร้อนที่คายออกมาเนื่องจากการควบแน่น ส่วนปริมาณความร้อนของการคายความชื้นอาจประมาณด้วยปริมาณความร้อนแฝงของการระเหย
9. ลมร้อนชื้นนั้น ถือว่าเป็นก๊าซผสมในอุดมคติของอากาศแห้งที่ร้อนกับความชื้น (ไอน้ำ) จึงทำนายคุณสมบัติของมันได้ด้วยกฎของก๊าซในอุดมคติ





รูป 3.3 เครื่องลดความชื้นแบบหมุนโดยการดูดซับแทนด้วยถังถ่าน N ถัง และห้องแทนด้วยถังถ่าน K ถังต่อเนื่องกัน

จากรูปของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น และสมมติฐานต่าง ๆ ข้างต้น สามารถนำมาเขียนอนุพันธ์ของสมการดุลของมวลสารและพลังงานในวัฏศุนขึ้นและถมร้อนด้านกายการดุลซัษในถึง 'I' ใด ๆ ได้ดังนี้ (14)

สมการดุลของมวลสารในเครื่องลดความซึ้นแบบหมุนโดยการดุลซัษด้านกายการดุลซัษ

### 1. ดุลของน้ำในวัฏศุน ที่ 'I'

(อัตราการสะสมน้ำในวัฏศุน) = (อัตราการไหลเข้าของน้ำ) - (อัตราการไหลออกของน้ำ)  
- (อัตราการระเหยของน้ำจากวัฏศุน)

$$\frac{d}{dt} \left[ \rho_{SB} \left( \frac{A_C L_C}{N} \right) w_I \right] = -R_I \left( \frac{A_C L_C}{N} \right) \rho_{SB}$$

$$\frac{d}{dt} (w_I) = -R_I$$

### 2. ดุลของไอน้ำในถมร้อนที่เซล 'I'

(อัตราการสะสมไอน้ำในถมร้อน) = (อัตราการไหลเข้าของไอน้ำ) - (อัตราการไหลออกของไอน้ำ)  
+ (อัตราการระเหยออกของน้ำจากวัฏศุน)

$$\frac{d}{dt} \left[ \frac{1}{V_H} \left( \frac{A_C E L_C}{N} \right) H_I \right] = A_C E G_{I-1} H_{I-1} - A_C E G_I H_I + R_I \left( \frac{A_C L_C}{N} \right) \rho_{SB}$$

จากสมการอนุรักษ์ของมวลของอากาศแห้งที่ผ่านโรเตอร์

$$G_{I-1} A_C = G_I A_C = G_{F_s} A_C$$

สำหรับทุกเซล 'I'

$$G_{I-1} = G_I = G_{F_s}$$

เมื่อแทนค่าลงไปในการสมการสมดุลของไอน้ำในถ้อน สมการจะกลายเป็น

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{H_I}{V_H} \right) = \frac{N}{L_C} G_{Fa} (H_{I-1} - H_I) + \frac{R_I P_{SB}}{\epsilon}$$

$$\frac{d}{dt} (H_I) = V_H \frac{N}{L_C} G_{Fa} (H_{I-1} - H_I) + \frac{V_H R_I P_{SB}}{\epsilon} + \frac{H_I}{V_H} - \frac{d}{dt} (V_H)$$

สมการดุลของพลังงานความร้อนในเครื่องลดความชื้นแบบหมุน โดยการดูดซับด้านการดูดซับ

### 3. ดุลพลังงานความร้อนในวัฏจักรที่เซลล์ 'I'

(อัตราการสะสมพลังงานในวัฏจักร) = (อัตราการไหลเข้าของพลังงาน) - (อัตราการไหลออกของพลังงาน) + (อัตราการถ่ายเทความร้อนจากถ้อนร้อนเข้ามา) - (อัตราของพลังงานที่ใช้ในการระเหยและคายการดูดซับของน้ำ)

$$\frac{d}{dt} \left[ \rho_B \left( \frac{A_C L_C}{N} \right) E_{B_I} \right] = 0 - 0 + h_C a_C [T_{A_I} - T_{S_I}] \left( \frac{A_C L_C}{N} \right) - R_I [\lambda_{S_I} - \Delta H_{desorp}] \left( \frac{A_C L_C}{N} \right) \rho_{SB}$$

ในการหาค่าเอนทัลปีของไอน้ำและอากาศ กำหนดให้เป็นน้ำและอากาศที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสตามลำดับ

ดังนั้น เอนทัลปีของโรเตอร์ชั้นที่เซลล์ 'I'

$$E_{B_I} = \left[ \frac{\rho_{FB}}{\rho_B} C_{PE} + \frac{\rho_{SB}}{\rho_B} C_{PS} + \frac{\rho_{SB}}{\rho_B} C_{PW} W_I \right] T_{S_I}$$

เมื่อแทนค่าเฮลทักปีของโรเตอร์ที่เซต 'I' ลงไปในสมการข้างต้นจะได้

$$\begin{aligned} (\rho_{FB}C_{PF} + \rho_{SB}C_{PS} + \rho_{SB}C_{PW}W_I) \frac{d}{dt}(T_{S_I}) + (\rho_{SB}C_{PW}C_{PT_{S_I}}) \frac{d}{dt}W_I = h_{C^*}C [T_{A_I} - T_{S_I}] \\ - R_I [\lambda_{S_I} - \Delta H_{desorp}] \end{aligned}$$

เมื่อแทนค่าสมการ (3.1) ลงไปในเทอมที่ 2 ของสมการข้างบน จะได้

$$\begin{aligned} (\rho_{FBC}C_{PF} + \rho_{SBC}C_{PS} + \rho_{SBC}C_{PW}W_I) \frac{d}{dt}(T_{S_I}) = h_{C^*}C (T_{A_I} - T_{S_I}) \\ - R_I \rho_{SB} [\lambda_{S_I} - C_{PW}T_{S_I} - \Delta H_{desorp}] \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

4. ดุลพลังงานความร้อนให้ถมร้อนที่เซต 'I'

(อัตราสะสมพลังงานในถมร้อน) = (อัตราการไหลเข้าของพลังงาน) - (อัตราการไหลออกของพลังงาน) - (อัตราการถ่ายเทความร้อนจากถมร้อนออกไป) + (อัตราของพลังงานที่ใช้ในการระเหยและคายการดูดซับของน้ำ)

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left[ \frac{1}{V_H} \left( \frac{A_C \epsilon L C}{N} \right) E_{A_I} \right] = \epsilon A_C G_I - \epsilon E_{A_I} - \epsilon A_C G_I E_{A_I} - h_{C^*}C \left( \frac{A_C L C}{N} \right) (T_{A_I} - T_{S_I}) \\ + \rho_{SB} R_I \left( \frac{A_C L C}{N} \right) [\lambda_{S_I} - \Delta H_{adsorp}] \end{aligned}$$

เมื่อ  $E_{A_I}$  = เฮลทักปีของถมร้อนที่เซต 'I'

$$= (C_{PA} + C_{PV}H_I)T_{A_I} + \lambda_{OH_I} \dots\dots\dots(a)$$

เมื่อทำการดิฟเฟอเรนเชียลค่านิยามของเฮลทักปีของถมร้อนขึ้นกับเวลา จะได้

$$\frac{d}{dt}(E_{A_I}) = [C_{PVA} + C_{PV}H_I] \frac{d}{dt}(T_{A_I}) + [\lambda_{OH} + C_{PV}T_{A_I}] \frac{d}{dt}(H_I) \dots\dots\dots(b)$$

จากสมการอนุรักษ์มวลของอากาศแห้ง

$$G_{1,i} = G_i = G_{F_a}$$

และจากสมมติฐานที่ว่า ลมร้อนชื้นคือก๊าซผสมในอุดมคติ จะได้

$$\lambda_0 + C_{pV}T_{A_1} = C_{pW}T_{S_1} + \lambda_{S_1} + C_{pV}(T_{A_1} - T_{S_1}) \quad \dots\dots(c)$$

เมื่อแทนค่าสมการ (a), (b) ลงไปในสมการดุลพลังงานความร้อนในลมร้อน จะได้

$$\left(\frac{\epsilon A_{CLC}}{N}\right) \frac{d}{dt} \left(\frac{E_{A_1}}{V_H}\right) = \epsilon A_C G_{F_a} \left[ (C_{pA} + C_{pV}H_{I-1})T_{A_{I-1}} + \lambda_0 H_{I-1} - (C_{pA} + C_{pV}H_I)T_{A_1} + \lambda_0 H_I \right.$$

$$\left. - h_{C^*} C \left(\frac{A_{CLC}}{N}\right) [T_{A_1} - T_{S_1}] + R_1 \rho_{S_B} \left(\frac{A_{CLC}}{N}\right) [\lambda_{S_1} - \Delta H_{adsorp}] \right]$$

แทนค่า  $\frac{d}{dt} \left(\frac{E_{A_1}}{V_H}\right)$  ลงทางขวามือ

$$\left[ \frac{C_{pA} + C_{pV}H_I}{V_H} \right] \left(\frac{A_{CLC}\epsilon}{N}\right) \frac{d}{dt} (T_{A_1}) + \epsilon A_C G_{F_a} \lambda_0 (H_{I-1} - H_I) + \epsilon A_C G_{F_a} C_{pV} T_{A_1} H_{I-1}$$

$$- \epsilon A_C G_{F_a} C_{pV} T_{A_1} H_I + (\lambda_0 + C_{pV}T_{A_1}) R_1 \rho_{S_B} \left(\frac{A_{CLC}}{N}\right) - \frac{C_{pV}T_{A_1}}{V_H^2} \left(\frac{A_{CLC}\epsilon}{N}\right) \frac{d}{dt} (V_H)$$

$$= \epsilon A_C G_{F_a} \lambda_0 (H_{I-1} - H_I) + \epsilon A_C G_{F_a} C_{pA} (T_{A_{I-1}} - T_{A_1}) + \epsilon A_C G_{F_a} C_{pV} H_{I-1} T_{A_{I-1}}$$

$$- \epsilon A_C G_{F_a} C_{pV} H_I T_{A_1} - h_{C^*} C \left(\frac{A_{CLC}}{N}\right) (T_{A_1} - T_{S_1}) + R_1 \rho_{S_B} \left(\frac{A_{CLC}}{N}\right) - R_1 \rho_{S_C} \left(\frac{A_{CLC}}{N}\right) (\Delta H_{adsorp})$$

กำหนดให้อยู่ในรูปเดียวกันโดยใช้สมการ C จาก

$$C_{pW}T_{S_1} + \lambda_{S_1} + C_{pV}(T_{A_1} - T_{S_1}) = \lambda_0 + C_{pV}T_{A_1}$$

ดังนั้น

$$\left( \frac{C_{PA} + C_{PV}H_1}{V_H} \right) \frac{d}{dt}(T_{A1}) = \frac{N}{L_C} G_{Fa} (C_{PA} + C_{PV}H_{I-1})(T_{A_{I-1}} - T_{A1}) - \frac{h_{C\&C}}{\epsilon} (T_{A1} - T_{S1})$$

$$+ \frac{C_{PV}}{V_H^2} (T_{A1}) \frac{d}{dt}(V_H) - \frac{R_1 P_{SC}}{\epsilon} [C_{PW} T_{S1} + C_{PV} (T_{A1} - T_{S1})] + \Delta H_{adsorp} \quad \dots(4)$$

สำหรับอนุพันธ์ของสมการดุลของมวลสารและพลังงานในวัฏจักรขึ้นและลงรอบด้านดูดซับความชื้น ในถึง 'I' ใดๆ หาได้จากการเปลี่ยนค่าทิศทางการไหลของลมภายในโรเตอร์ ซึ่งรูปสมการจะคงเดิม แต่จะเปลี่ยนค่า

$(H_{I-1} - H_I)$  เปลี่ยนเป็น  $(H_{I+1} - H_I)$

$(T_{A_{I-1}} - T_{A_I})$  เปลี่ยนเป็น  $(T_{A_{I+1}} - T_{A_I})$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมมติฐานแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีดังนี้

1. การไหลของลมร้อนเป็นแบบลูกสูบ และห้องแทนด้วยถังความสมบูรณ์ K ถึงต่ออนุกรมกัน
2. ไม่มีการสูญเสียของความร้อนไปสู่สิ่งแวดล้อมผ่านผนังของห้อง
3. เนื่องจากการไหลของลมร้อนเป็นแบบลูกสูบ จึงไม่มีเกรเดียนต์ของความชื้นและ อุณหภูมิในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล
4. การนำความร้อนระหว่างน้ำบนพื้นผิวห้องนั้น ถือว่ามีค่าน้อยมากจนไม่คำนึงถึง
5. การแพร่ (diffusion) ของความชื้นในทิศทางการไหลของลมร้อน ถือว่ามีค่าน้อย มากจนไม่คำนึงถึงเมื่อเทียบกับการถ่ายเทความชื้นโดยการไหล
6. ลมร้อนชื้นนั้น ถือว่าเป็นก๊าซผสมในอุดมคติของอากาศแห้งที่ร้อนกับความชื้น (ไอน้ำ) จึงทำนายคุณสมบัติของมันได้ด้วยกฎของก๊าซในอุดมคติ

สมการดุลของมวลสารภายในห้อง

1. ดุลน้ำบนพื้นผิวห้อง ที่ห้อง 'K'

อัตราการสะสมน้ำพื้นผิวห้อง = อัตราการไหลเข้าของน้ำ - อัตราการไหลออกของน้ำ  
- อัตราการระเหยออกของน้ำบนพื้นผิวห้อง

$$\frac{d}{dt} [W_K] = 0 - 0 - R_K$$

$$\therefore \frac{d}{dt} (W_K) = - R_K \quad \dots\dots\dots(1)$$

2. ดุลไอน้ำในลมร้อน ที่ห้อง 'K'

อัตราการสะสมไอน้ำในลมร้อน = อัตราการไหลเข้าของไอน้ำ - อัตราการไหลออกของไอน้ำ  
+ อัตราการระเหยออกของน้ำจากพื้นผิวห้อง

$$\frac{d}{dt} \left[ \frac{1}{V_{HK}} \left( \frac{A_R L_R}{K} \right) H_K \right] = A_R G_{K-1} H_{K-1} - A_R G_K H_K + R_K \frac{A_f}{K N}$$

สมการอนุรักษ์มวลของอากาศที่ผ่านห้อง

$$G_{K-1} A_R = G_K A_R = G_{Fa} A_R$$

$$\therefore \frac{d}{dt} \left( \frac{H_K}{V_{HK}} \right) = \frac{M}{L_R} (G_{Fa}) (H_{K-1} - H_K) + \frac{R_K A_f}{A_R L_R}$$

$$\therefore \frac{d}{dt} (H_K) = V_{HK} \frac{M}{L_R} G_{Fa} (H_{K-1} - H_K) + \frac{V_{HK} R_K A_f}{A_R L_R} + \frac{H_K}{V_{HK}} \frac{d}{dt} (V_{HK}) \quad \dots(2)$$

สมการดุลของพลังงานความร้อนของน้ำบนพื้นผิวที่ห้อง 'K'

### 3. ดุลพลังงานความร้อนของน้ำบนพื้นผิวห้อง 'K'

อัตราการสะสมพลังงานบนพื้นผิว = (อัตราการไหลเข้าของพลังงาน) - (อัตราการไหลออกของพลังงาน) + (อัตราการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนเข้ามา) - (อัตราของพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ)

$$\frac{d}{dt} (E_w) = 0 - 0 + h_R [T_{AK} - T_{WK}] - R_K [\lambda w_K]$$

$E_w$  = พลังงานความร้อนของน้ำบนพื้นผิวห้อง

$$= [C_{PW} w_K T_{WK}]$$

$$\therefore [C_{PW} w_K] \frac{d}{dt} (T_{WK}) = h_R [T_{AK} - T_{WK}] - R_K [\lambda w_K]$$

$$\therefore \frac{d}{dt} (T_{WK}) = \frac{h_R (T_{AK} - T_{WK}) - R_K \lambda w_K}{C_{PW} w_K} \quad \dots\dots\dots(3)$$



โดย  $\lambda_w = \lambda_0 - [c_{pw} - c_{pv}]T_{wk}$

#### 4. ดุลพลังงานความร้อนในลมร้อนที่ห้อง 'K'

อัตราการสะสมพลังงานในลมร้อน = (อัตราการไหลเข้าของพลังงาน) - (อัตราการไหลออกของพลังงาน) - (อัตราการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนออกไป) + (อัตราของพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ)

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{1}{V_{HK}} \left( \frac{A_R L_R}{M} \right) E_{AK} \right) = A_R G_{K-1} - A_G E_{AK} - h_R \frac{A_f}{M} [T_{AK} - T_{WK}] - R_K [\lambda_w] \frac{A_R}{M}$$

เมื่อ  $E_{AK}$  = เอลทัลปีของลมร้อน (KJ/kg dry air)

$$= [c_{pA} + c_{pV} H_K] T_{WK} + \lambda_0 H_K$$

$$\therefore \frac{d}{dt} (E_{AK}) = (c_{pA} - c_{pV} H_K) \frac{d}{dt} (T_{AK}) + (\lambda_0 + c_{pV} T_{AK}) \frac{d}{dt} (H_K) \quad \dots\dots\dots(a)$$

จากสมการอนุรักษ์มวลของอากาศแห้ง

$$G_{K-1} = G_K = G_{R_2} \quad \dots\dots\dots(b)$$

และจากสมมติฐานที่ว่า ลมร้อนชื้นคือก๊าซผสมในอุดมคติ จะได้

$$\lambda_0 + c_{pV} T_{AK} = c_{pW} T_{WK} + \lambda_{S1} + c_{pV} (T_{AK} - T_{WK}) \quad \dots\dots\dots(c)$$

แก้สมการเหมือนกับในส่วนเครื่องลดความชื้นแบบหมุน โดยการคูณด้วย จนถึงขั้นสุดท้าย จะได้

$$\frac{d}{dt}(T_{AK}) = \left( \frac{M}{L_R} G_{Fa} (C_{PA} + C_{PV} H_{K-1}) (T_{AK-1} - T_{AK}) - \frac{h_{RA} f}{L_{RA} R} (T_{AK} - T_{WK}) - \frac{R_{KA} f}{L_{RA} R} \right.$$

$$\left. \left[ C_{PW} T_{WK} + C_{PV} (T_{AK} - T_{WK}) \right] + \frac{C_{PV}}{V_{HK}^2} T_{AK} \frac{d}{dt}(V_{HK}) \right) / \left[ \left( \frac{C_{PA} + C_{PV} H_{K}}{V_{HK}} \right) \right]$$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อนึ่ง อัตราการระเหยของน้ำออกจากวัสดุขึ้นในถึง 'I' หรือ  $R_I$  หาได้จาก

$$R_I = K(H_{S_I} - H_I) \frac{A h}{L R A C P S B}$$

ในที่นี้ค่าฟังก์ชัน  $f[W_I]$  จะขึ้นอยู่กับว่าขณะนั้นอยู่ในช่วงเวลาใดของการลดความชื้น ถ้าเป็นช่วงการลดความชื้นที่ความเร็วคงที่ ค่าของ  $f[W_I] = 1$ , ถ้าเป็นช่วงอัตราการลดความชื้นที่ความเร็วลดลงค่าของ  $f[W_I] = \left[ \frac{W_I - W_E}{W_C - W_E} \right]$  จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความชื้นอิสระในวัสดุขึ้น และลักษณะโครงสร้างภายในของวัสดุขึ้น เป็นต้น และถ้าเป็นช่วงที่ไม่มีการระเหย ค่าของ  $f[W_I] = 0$  สรุปแล้ว

$$: W_I > W_C$$

$$f[W_I] = \left[ \frac{W_I - W_E}{W_C - W_E} \right]$$

$$: W_E < W_I < W_C$$

$$: W_I < W_E$$

ส่วนค่า  $H_{S_I}$  นั้นสามารถหาได้จากสหพันธ์ ในภาคผนวก ก.2

ค่า  $K$  หาได้จากความสัมพันธ์ Lewis relation (15)

$$K = h_c / CH$$

ในกรณีที่ลมร้อน (อากาศ) ไหลขนานกับผิวชั้นวัสดุ ประเมินสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยการหาได้จาก

$$h_c = 0.017 * G^{0.8}$$

$$\text{ค่า } CH = 0.24 + 0.46 * H$$

อนึ่ง ค่าของ  $\lambda_0$  และ  $\lambda_s$  นั้นคือความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิ

0 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิผิวหน้าของวัสดุชั้น ค่าของ  $\lambda_s$  นั้นสามารถหาได้จากการทดลองของวัสดุชั้น ในวิชานี้จะใช้ค่า  $\lambda_0$  และ  $\lambda_s$  ของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิดังกล่าว เท่านั้น

$$\text{โดย} \quad \lambda_s = \lambda_0 + (C_{p_w} - C_{p_v}) T_s$$

ส่วนค่าของ  $V_H$  (ปริมาตรจำเพาะของลมร้อนขึ้น) สามารถหาได้จากสมการ (13)

$$V_H = \frac{22.4 \cdot (273 + T_A) (18 + 29 \cdot H)}{273 \cdot 18 \cdot 29}$$

โดยที่ค่านี้ว่า ลมร้อนเป็นก๊าซผสมในอุดมคติ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.4 อัลกอริทึมและผังคำนวณ (Algorithm & Flowchart)

3.4.1 เป็นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่โปรแกรมต้องการ คือ จำนวนเซลล์ทั้งหมดของโรเตอร์, จำนวนช่องทั้งหมดของโรเตอร์, จำนวนช่องที่คายความร้อนของโรเตอร์, จำนวนเซลล์ของโรเตอร์ที่ต้องการ พิมพ์, จำนวนช่องของโรเตอร์ที่ต้องการพิมพ์, จำนวนเซลล์ทั้งหมดของห้อง, เวลาเริ่มต้น, ช่วงเวลาที่ทำการอินทิเกรต, ช่วงเวลาที่พิมพ์ผลลัพธ์, เวลาสุดท้าย, ความชื้นวัสดุ, อุณหภูมิวัสดุ, ความชื้นอากาศ, อุณหภูมิอากาศของช่องที่คายความร้อนในโรเตอร์, อุณหภูมิลมร้อนที่ทางเข้าด้านคายความร้อน, ความชื้นวัสดุ, อุณหภูมิวัสดุ, ความชื้นอากาศ, อุณหภูมิอากาศของช่องดูดซับความร้อนในโรเตอร์, ปริมาณน้ำบนผิวห้อง, พื้นที่หน้าตัดของเซลล์, พื้นที่ผิวของเซลล์, ความยาวห้อง, พื้นที่หน้าตัดของห้อง, ความเร็วลมในช่องคายความร้อนของโรเตอร์, ความเร็วลมในช่องดูดซับความร้อนของโรเตอร์, ความเร็วลมภายในห้อง, อัตราส่วนช่องว่างของวัสดุ, ความหนาแน่นในส่วนของวัสดุเคลือบผิวภายในโรเตอร์, ความหนาแน่นในส่วนของไฟเบอร์ในโรเตอร์, พื้นที่ผิวจำเพาะเชิงปริมาตรของโรเตอร์, ความชื้นสัมบูรณ์, ความชื้นวิกฤตของวัสดุ, พื้นที่หน้าตัดของท่อส่งลมร้อนทางด้านคายความร้อนของโรเตอร์

3.4.2 พิมพ์ค่าพารามิเตอร์ที่ป้อนเข้าไป

3.4.3 กำหนดเวลาเริ่มต้น และป้อนเงื่อนไขเบื้องต้นของตัวแปรต่าง ๆ กำหนดค่าปริมาตรจำเพาะของลมร้อน, อัตราการไหลเชิงมวลของลมร้อน, ความร้อนจำเพาะชื้นของอากาศ, สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของอากาศ, ความร้อนแฝงของอากาศ, อัตราการระเหยในส่วนของการคายความร้อน, ดูดซับความร้อนในโรเตอร์ และห้องตามลำดับ

3.4.4 พิมพ์ค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้สำหรับการเริ่มต้น

3.4.5 กำหนดค่าความชื้นของวัสดุ, อุณหภูมิวัสดุ, ความชื้นอากาศ, อุณหภูมิอากาศของช่องคายความร้อนและดูดกลืนความร้อนในโรเตอร์, กำหนดค่าปริมาณน้ำที่เคลือบบนพื้นผิว, อุณหภูมิของน้ำ, ความชื้นอากาศ, อุณหภูมิอากาศภายในห้อง ตามลำดับ

3.4.6 กำหนดค่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอุ่นอากาศก่อนเข้าเครื่อง และปริมาณความร้อนสะสม

3.4.7 ทดสอบเวลาขณะนี้เท่ากับเวลาที่พิมพ์ผลลัพธ์ หรือยัง?

ถ้าถึงแล้วให้ไปทำตามข้อ 3.4.8

ถ้าไม่ถึงให้ไปทำตามข้อ 3.4.9

3.4.8 พิมพ์ผลลัพธ์ในส่วนของโรเตอร์ก่อนหมุนค่าผลลัพธ์

3.4.9 ทำการหมนค่าผลลัพธ์ และ เปรียบเทียบเวลาขณะนี้เท่ากับเวลาที่พิมพ์ผลลัพธ์ หรือ  
ยัง?

ถ้าถึงแล้วให้ไปทำตามข้อ 3.4.10

ถ้าไม่ถึงให้ไปทำตามข้อ 3.4.11

3.4.10 พิมพ์ผลลัพธ์ในส่วนของโรเตอร์หลังหมนค่าผลลัพธ์, พิมพ์ผลลัพธ์ในส่วนของ  
ห้อง, พิมพ์ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอุ่นอากาศก่อนเข้าโรเตอร์ และปริมาณความร้อนที่ใช้  
สะสม

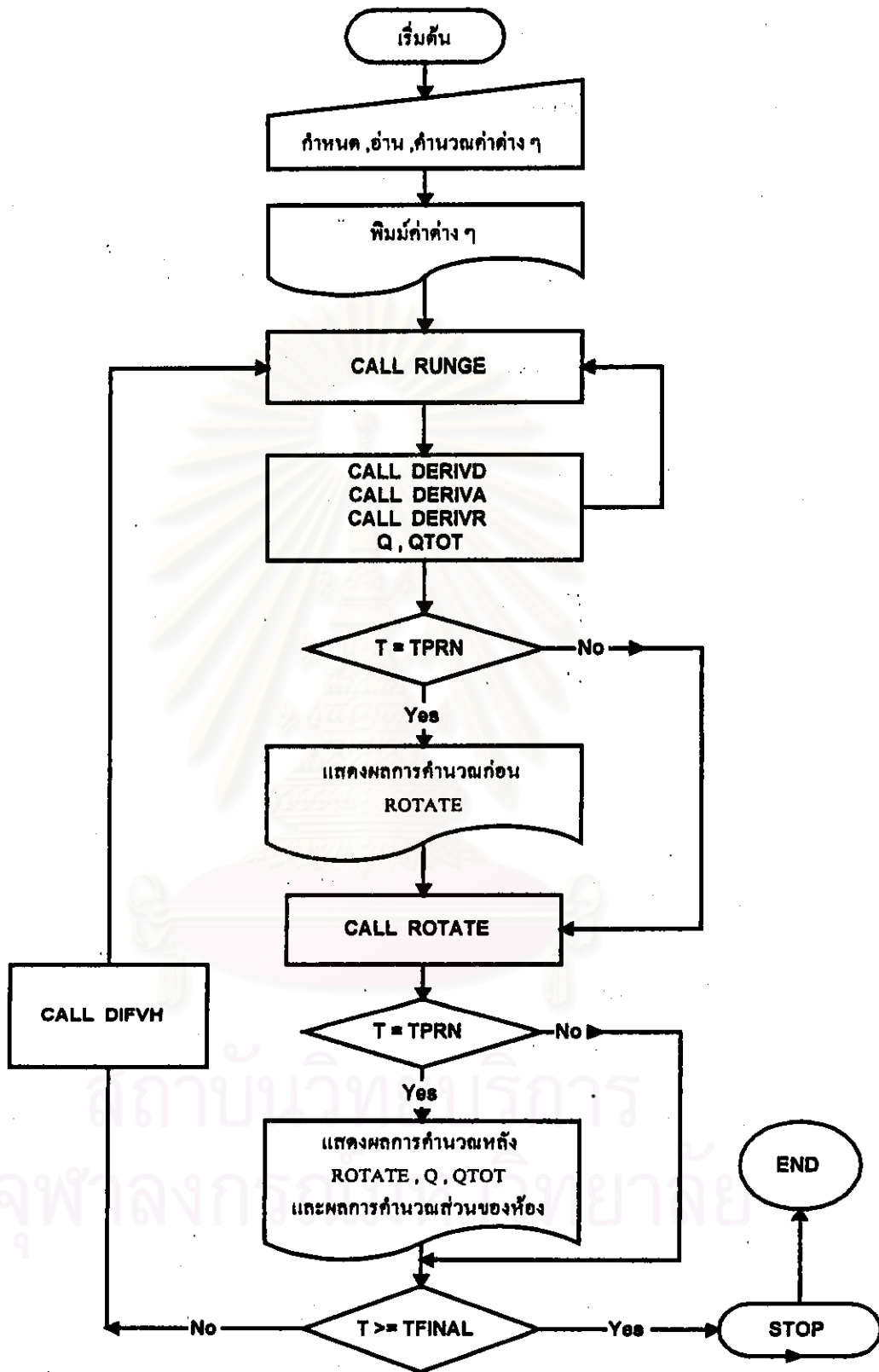
3.4.11 ทดสอบเวลาขณะนี้ถึงเวลาสุดท้าย หรือยัง?

ถ้าถึงแล้วให้จบโปรแกรม

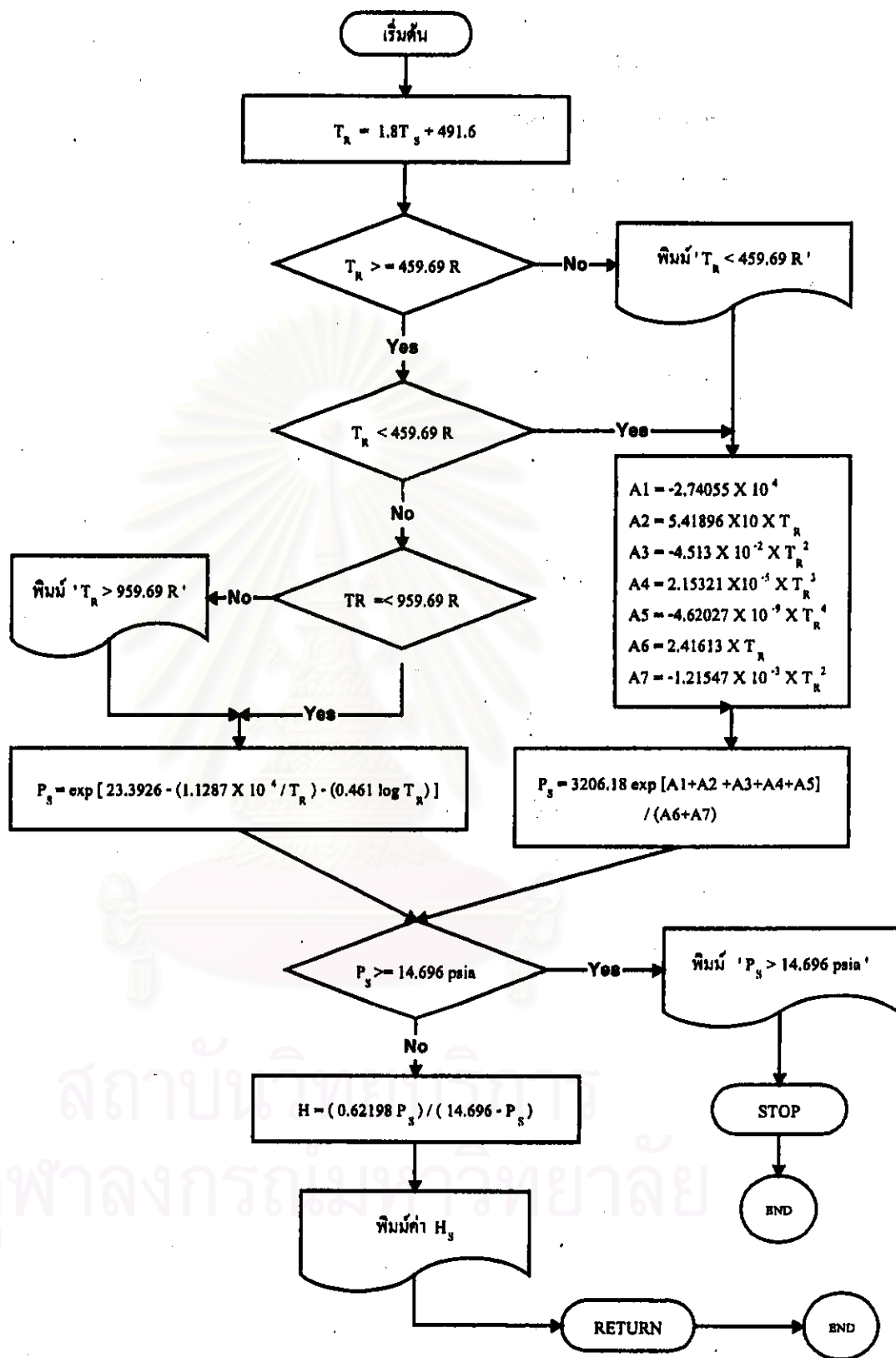
ถ้าไม่ถึงให้ไปทำตามข้อ 3.4.12

3.4.12 คำนวณค่าดิฟเฟอเรนเชียลของปริมาตรจำเพาะของลมร้อนในโรเตอร์ และในห้อง  
ตามลำดับ แล้วกลับไปทำข้อ 3.4.5

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

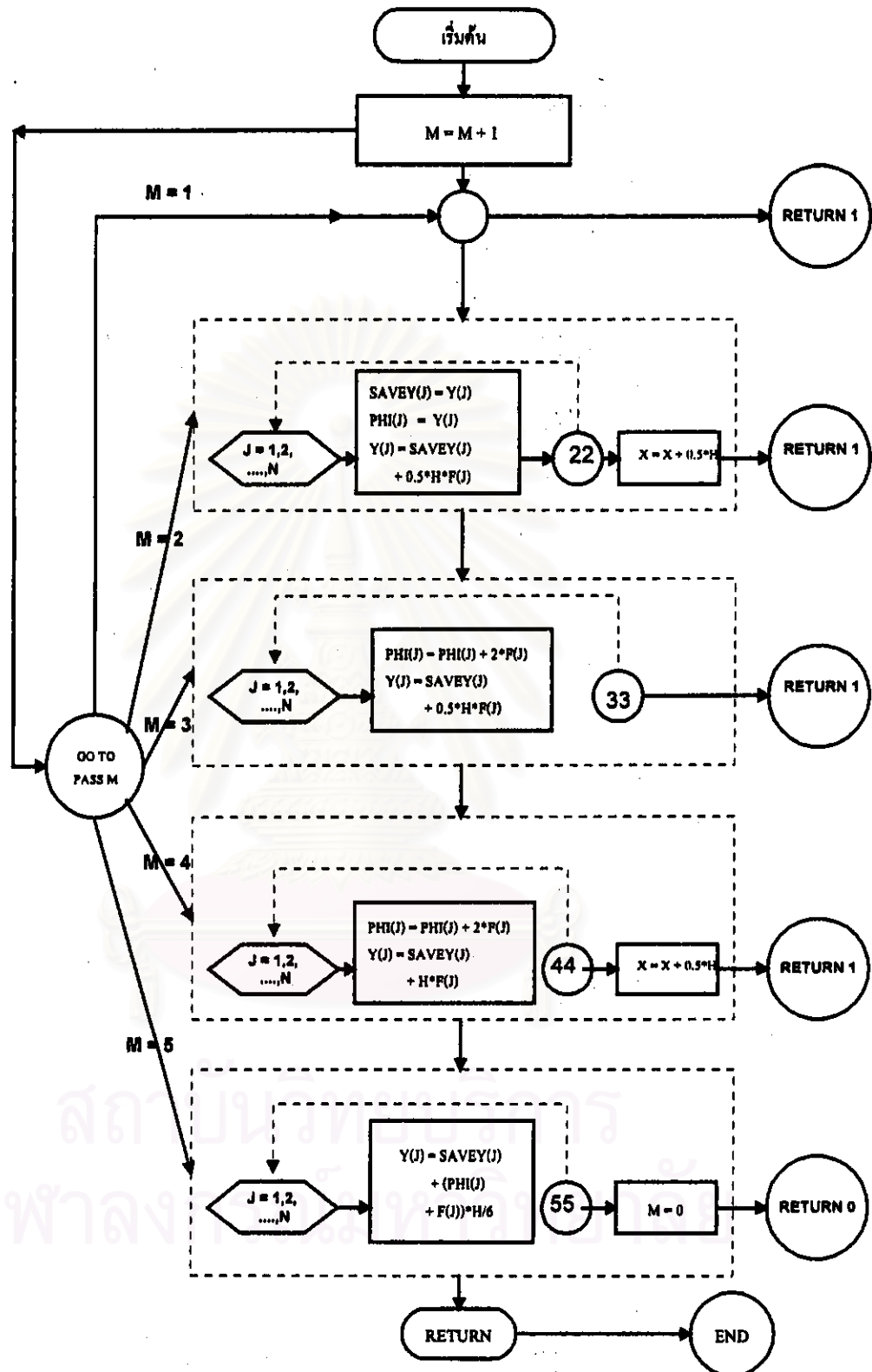


รูปที่ 3.4 แผนผังการคำนวณของโปรแกรมหลัก

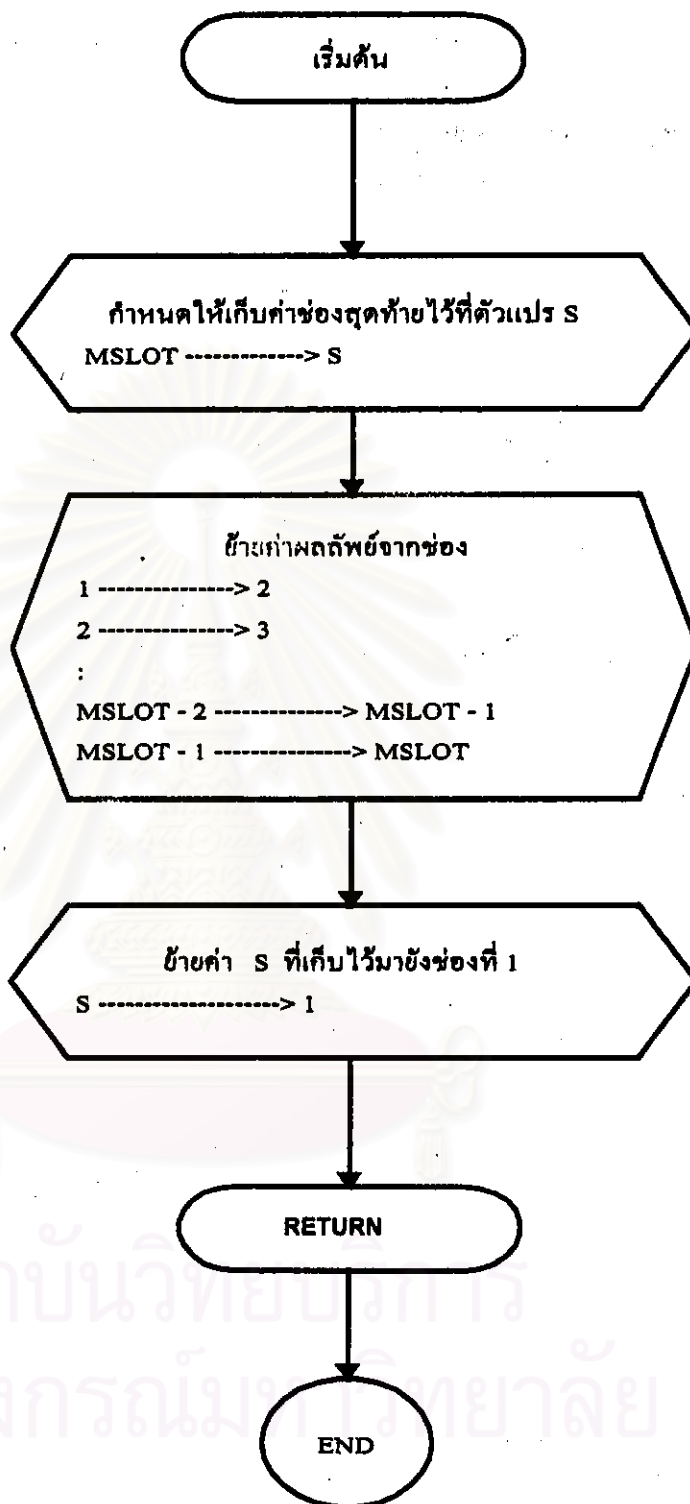


รูปที่ 3.5 แผนผังการคำนวณของขั้วรูทึน PSHS





รูปที่ 3.6 แผนผังการคำนวณของขั้นตอนวิธี RUNG



รูปที่ 3.7 แผนผังการคำนวณของขั้นตอน ROTATE