บทที่ 4

แบบจำลองคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม

วิทยานิพนธ์นี้ จะประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ซึ่ง Shigeru Matsumoto และ David C.T.Pei(1984) ได้เสนอไว้ใช้กับพวกเมล็ดธัญพืช (Grain) ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดๆ แต่ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ประยุกต์แบบจำลองนี้ใช้กับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีลักษณะเป็นผงละเอียด

สมมุติฐานของแบบจำลองคณิตศาสตร์ มีดังนี้

1. อุณหภูมิของลมร้อน และ ความชื้นของลมร้อน จะเท่ากันทุกจุดที่พื้นที่หน้าตัดของท่ออบแห้ง แต่จะเปลี่ยนตามความยาวของอบแห้ง (การไหลเป็นแบบลูกสูบ)

2. อนุภาคของของแข็งจะกระจายเท่า ๆ กัน ทุกจุดที่พื้นที่หน้าตัดของท่ออบแห้ง (การไหลเป็นแบบลูกสูบ)

3. อนุภาคของของแข็งเป็นทรงกลม และขนาดเท่ากัน ทุกอนุภาค

4. ที่ผนังของท่ออบแห้งมีการหุ้มฉนวน และไม่มีการแลกเปลี่ยนพลังงานในแนวรัศมีของท่ออบแห้ง (ไม่มีการสูญหนีของความร้อนผ่านผนัง)

5. การอบแห้งเกือบทั้งหมดเกิดในช่วง อัตราการอบแห้งที่คงที่ (Constant Drying Rate) โดยถือว่า ช่วงอัตราการอบแห้งที่ช้าลงนั้นสั้นมาก

6. การไหลของลมร้อน และวัสดุ เป็นแบบไหลตามกัน (Co-current)

7. ลมร้อนชื้นถือได้ว่าเป็นก๊าซในอุดมคติ เพราะฉะนั้นการทำนายคุณสมบัติต่าง ๆ ของลมร้อนจะใช้กฎของก๊าซในอุดมคติ

จากสมมุติฐานต่างๆสามารถเขียนสมการดุลของมวลสารและพลังงานในวัสดุชื้นและลมร้อนของเครื่องอบแห้งทั้งเครื่อง ได้ดังนี้

4.1 สมการของดุลมวลสารรวม

ความชื้นที่ระเหยออกจากวัสดุชื้น = ความชื้นที่ลมร้อนรับเข้าไป

$$W_o (w_1 - w_2) = G_o (H_1 - H_2) \quad .... (4.1)$$

4.2 สมการของดุลพลังงานความร้อน

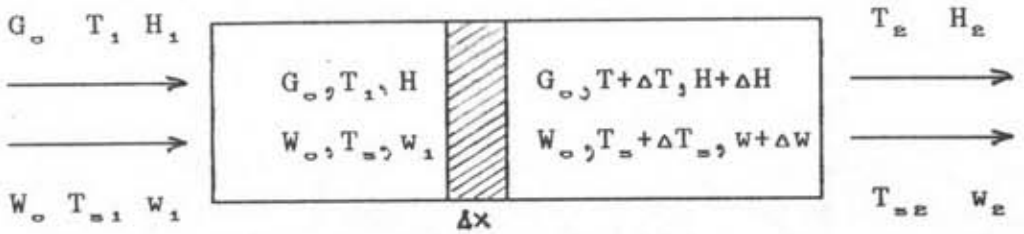
ความร้อนที่ลมร้อนถ่ายเทออก = ความร้อนที่วัสดุชื้นได้รับ

$$G_o (i_1 - i_2) = W_o C_a (T_{a2} - T_{a1}) + W_o (w_1 - w_2) C_w (T_{a2} - T_{a1})$$

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$G_o i_1 + W_o (C_a + C_w . w_1) T_{a1} = G_o i_2 + W_o (C_a + C_w . w_2) T_{a2} \quad ....(4.2)$$

ในกรณีที่ระบบอยู่ในสภาวะคงที่สามารถเขียน สมการของดุลมวลสารและพลังงานในเฟสของลมร้อน และวัสดุชื้นได้ โดยพิจารณาความยาว Δx ของเครื่อง ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมแสดงการพิจารณาเครื่องอบแห้ง ที่ความยาว Δx

4.3 สมการดุลของน้ำในวัสดุชื้น

(อัตราการสะสมน้ำ) = (อัตราการไหลเข้าของน้ำ)
- (อัตราการไหลออกของน้ำ)
- (อัตราการระเหยของน้ำจากวัสดุชื้น)

$$0 = W_o S w_x - W_o S w_{x+\Delta x} - R_d a_v S \Delta x$$

หารตลอดด้วย $\Delta x S$ แล้วใส่ limit $\Delta x \to 0$ จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$W_o \frac{dw}{dx} = - R_d a_v S \qquad ....(4.3)$$

4.4 สมการดุลของไอน้ำในลมร้อน

(อัตราการสะสมไอน้ำ) = (อัตราการไหลเข้าของไอน้ำ)
-(อัตราการไหลออกของไอน้ำ)
+(อัตราการระเหยของน้ำจากวัสดุชื้น)

$$0 = G_o S H_x - G_o S H_{x+\Delta x} + R_d a_v S \Delta x$$

หารตลอดด้วย $\Delta x S$ แล้วใส่ limit $\Delta x \to 0$

$$G_a \frac{dH}{dx} = R_d a_v S$$

หรือ

$$\frac{G_a}{W_a}\frac{dH}{dx} = -\frac{dw}{dx} \qquad ....(4.4)$$

4.5 สมการดุลของพลังงานความร้อนในวัสดุชื้น

(อัตราการสะสมความร้อน) = (อัตราการไหลเข้าของความร้อน)
-(อัตราการไหลออกของความร้อน)
+(อัตราการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อน)
-(อัตราการความร้อนที่ใช้ระเหยน้ำ)

$$0 = W_a i_{a(x)} - W_a i_{a(x+\Delta x)} + h_b(T_x-T_a)a_v S\Delta x - (R_d\lambda_a + R_d C_v(T_x-T_a))a_v S\Delta x$$

$$0 = W_a (i_{a(x)}-i_{a(x+\Delta x)}) + a_v S\Delta x \{h(T_x-T_a) - R_d\lambda_a + R_d C_v(T_x-T_a)\}$$

หารตลอดด้วย $\Delta x S$ แล้วใส่ limit $\Delta x \to 0$ จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$W_a \frac{di_a}{dx} = \{h_b(T_x-T_a) - [\lambda_a + C_v(T_x-T_a)]R_d\}a_v S$$

$$i_a = (C_a + C_w.w)T_a$$

$$di_a = (C_a + C_w.w)dT_a + C_w T_a dw$$

แทนค่าสมการที่ (4.3) จะได้

$$(C_a+C_w.w)\frac{dT_a}{dx} = \{h_b(T_x-T_a) - [\lambda_a + C_v(T_x-T_a)]R_d\}\frac{a_v S}{W_a} \qquad ....(4.5)$$

4.6 สมการดุลของพลังงานในลมร้อน

(อัตราการสะสมความร้อน) = (อัตราการไหลเข้าของความร้อน)
-(อัตราการไหลออกของความร้อน)
-(อัตราการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อน)
+(อัตราความร้อนที่ไหลเข้ามากับไอน้ำ)

$$0 = G_o i_{x(x)} - G_o i_{x(x+\Delta x)} + \{-h_p(T_x - T_p) + R_d(\lambda_o + C_v T_x)\} a_v S \Delta x$$

หารตลอดด้วย $\Delta x S$ แล้วใส่ limit จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\Delta x \to 0$$

$$G_o \frac{di_x}{dx} = \{-h_p(T_x - T_p) + R_d[\lambda_o + C_v T_x]\} a_v S$$

$$i_x = (C_x + C_v H) T_x + \lambda_o H$$

$$d_{ix} = (C_x + C_v H)\, dT_x + (\lambda_o + C_v T_x)\, dH$$

แทนค่าสมการที่ (4.4) และ $C_H = C_x + C_v H$ จะได้

$$C_H \frac{dT_p}{dx} = \{-h_p(T_x - T_p)\} \frac{a_v S}{G_o} \quad \ldots\ldots(4.6)$$

เพื่อให้ง่าย ในโปรแกรมจะใช้สมการในรูปไร้มิติ (Dimensionless) ได้ดังต่อไปนี้

โดยให้ $X = x/D$ $\quad U_p = u_p/u_{\infty}$

$Sh = \frac{k_H . d_p}{D_{AB}}$ $\quad R_d = k_H . (H_p - H)$

$a_v = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_p}$ $\quad W_o = \rho_p . u_p . S$

$G_o = \rho_x . u_x . S$

จากสมการที่ (4.3) คูณด้วย $\frac{\rho_{a\infty} \cdot u_{a\infty} \cdot D \cdot \mu_{a\infty} \cdot \rho_x \cdot \mu_x}{\rho_{a\infty} \cdot u_{a\infty} \cdot D \cdot \mu_{a\infty} \cdot \rho_x \cdot \mu_x}$

จะได้

$$\frac{dw}{dX} = - K_g . \frac{Sh}{U_a} (H_a - H) \gamma_u \quad ....(4.7)$$

โดยที่

$$K_g = 6(1-\varepsilon) . (D/d_p)^2 . (\rho_{a\infty}/\rho_a) . Re_g^{-1} . Sc^{-1}$$

$$\gamma_u = \mu_{a\infty} / \mu_x$$

และจากสมการที่ (4.4) จะได้

$$\frac{dH}{dX} = - m \frac{dw}{dX} \quad ....(4.8)$$

โดยที่ $m = W_g/G_g$

สมการที่ (4.5) หารด้วย $(-C_v)$ ตลอด แล้วจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$[(C_a/C_v) + w] . W_g \frac{dT_a}{dX} = -\frac{[h_p . a_v S . (T_x - T_a)]}{C_v \text{ (เทอม 1)}} + \frac{a_v S R_d [C_v (T_x - T_a) + \lambda_a]}{C_v \text{ (เทอม 2)}}$$

พิจารณา เทอม 1 คูณด้วย $G_g . (1 + (C_v/C_a)H)/G_g . (1+(C_v/C_a)H$

จัดรูปสมการใหม่จะได้ $- [1+(C_v/C_a)H] . \frac{C_a . dT_a}{mC_v \, dX}$.

พิจารณา เทอม 2 จะได้ $[(C_v/C_v)(T_x - T_a) + \lambda_a/C_v] . \frac{dw}{dX}$

หรือ $-(1/m) . [(C_v/C_v) . (T_x - T_a) + (\lambda_a/C_v)] \frac{dH}{dX}$

I 16894736

เมื่อพิจารณารวม จะได้

$$[(C_s/C_v) + w]\frac{dT_s}{dX} = -(1/m).[1+(C_v/C_s)H](C_s/C_v)\frac{dT_g}{dX} - (1/m).[(C_v/C_v)(T_g-T_s) + (\lambda_s/C_v)]\frac{dH}{dX} \quad ....(4.9)$$

สมการที่ (4.6) หารตลอดด้วย C_s แล้วคูณด้วย

$$\frac{D.\rho_{ao}.\rho_s.u_{ao}.D_{AB}.u_s.\mu_{ao}.\rho_g.\mu_g^2}{D.\rho_{ao}.\rho_s.u_{ao}.D_{AB}.u_s.\mu_{ao}.\rho_g.\mu_g^2}$$

จะได้สมการ

$$[1+ (C_v/C_s).H]\frac{dT_g}{dX} = -K_c.\frac{Sc.Nu.m.\delta_u.(T_g-T_s)}{U_s\ Pr} \quad ....(4.10)$$

4.7 สมการการเคลื่อนที่ของอนุภาควัสดุ

$$\rho_{sm}.V_p\frac{du_s}{dt} = (1/2)(\pi d_p^2).\rho_g.C_d.(u_g-u_s)^2 - V_p.\rho_{sm}[1-(\rho_s/\rho_{sm})].g \quad ....(4.11)$$

ให้ $\rho_g/\rho_{sm} << 1$ และ $V_p = \pi d_p^3/6$

$$\frac{du_s}{dt} = \frac{(3/4).\rho_g.C_d.(u_g-u_s)^2}{d_p.\rho_s.(1+w)} - g$$

และ $u_s = dx/dt$ จะได้

$$u_p \frac{du_p}{dx} = \frac{(3/4).\rho_g.C_d.(u_g-u_p)^2}{d_p.\rho_p.(1+w)} - g \quad ....(4.12)$$

จัดรูปสมการในรูปตัวแปรไร้มิติ จะได้

ให้ $U_p = u_p/u_{\infty}$ $U_g = u_g/u_{\infty}$

$K_1 = (3/4)(D/d_p)(\rho_{\infty}/\rho_p)$

$\gamma_H = \rho_g / \rho_{\infty}$

สมการที่ (4.12) คูณตลอดด้วย $\rho_{\infty} / \rho_{\infty}$ จะได้

$$U_p \frac{dU_p}{dX} = K_1 . \gamma_H \frac{C_d}{(1+w)} (U_g-U_p)^2 - Fr^{-2} \quad ....(4.13)$$

สมการการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ha และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล k_H ได้จากสมการ

$$Nu = 2 + a\, Re_p^{1/2} Pr^{1/3} \quad ....(4.14)$$

$$Sh = 2 + a\, Re_p^{1/2} Sc^{1/3} \quad ....(4.15)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.8 อัลกอริทึมและผังการคำนวณ (Algorithm & Flowchart)

4.8.1 อัลกอริทึมของโปรแกรมชิมูเลชัน

4.8.1.1 ช่วงต้นของโปรแกรมจะมีการให้ค่าจำกัด ความของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในโปรแกรม

4.8.1.2 ป้อนค่าสภาวะเริ่มต้นที่โปรแกรมต้องการ เช่น ความชื้นของลมร้อนที่ทางเข้าท่ออบแห้ง, อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางเข้า, อุณหภูมิของวัสดุที่ทางเข้า, ความชื้นของวัสดุที่ทางเข้า, ปริมาณวัสดุแห้งที่ป้อนเข้า (โดยกำหนดค่า Us =0.001 ,Z_o =0.00001) ในการอินทิเกรตสมการ

4.8.1.3 โปรแกรมจะกำหนดค่ามิติของเครื่องอบแห้ง เช่น เส้นผ่าศูนย์กลางของท่ออบแห้ง, ความยาวของท่ออบแห้ง และ ค่าคุณสมบัติของวัสดุชื้น เช่น ความหนาแน่นของวัสดุ, ความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ และของน้ำ

4.8.1.4 คำนวณหา ปริมาตรจำเพาะชื้น, ความหนาแน่นของอากาศ, Reynolds number, ความหนืดของอากาศ ที่ทางเข้าของท่ออบแห้ง

4.8.1.5 พิมพ์ค่าข้อมูลต่าง ๆ เพื่อตรวจเช็ดความถูกต้อง

4.8.1.6 กำหนดตัวแปรที่ใช้ตรวจเช็ครอบการพิมพ์ เท่ากับ 1. และ คำนวณค่าปริมาตรจำเพาะชื้น, ความหนาแน่นของอากาศ , Reynolds number, ความหนืดของอากาศ, อุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อน ที่จุดต่างๆ ของท่ออบแห้ง

4.8.1.7 คำนวณค่าต่าง ๆ ในแบบจำลอง เช่น ความเร็วสัมพัทธ์ของลมร้อน (Relative gas velocity), ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของลมร้อน(Relative gas density)

4.8.1.8 คำนวณค่าคุณสมบัติต่างๆ ของลมร้อนที่จุดต่างๆ ของท่ออบแห้ง เช่น ความหนืด, ความจุความร้อนจำเพาะ, ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่, ค่าความนำความร้อนจำเพาะ, ความดันไออิ่มตัว, ความชื้นอิ่มตัว, ความร้อนแฝงของการระเหย

4.8.1.9 คำนวณค่าตัวแปรไร้มิติต่างๆ เช่น ความหนืดสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative viscosity of air), Reynolds number, Schmidt number, Prandtl number, Nusselt number, Sherwood number, ค่าคงที่ของสมการ (K1,K2)

4.8.1.9 ตรวจเช็คค่า Reynolds number เพื่อกำหนดค่าของ Drag Coefficient (C_D)

$$C_D = \begin{cases} 24/Re & \text{กรณี } Re <= 5 \text{ กฎของสโตค์} \\ 10/(Re)^{1/2} & \text{กรณี } 5<Re<500 \text{ กฎของอัลเลน} \\ 0.44 & \text{กรณี } Re >=500 \text{ กฎของนิวตัน} \end{cases}$$

4.8.1.10 หาคำตอบของชุดสมการซึ่งจะมีอยู่ 4 สมการ โดยใช้วิธีรันจ์-คัตตาออร์เดอร์ 4 เป็นวิธีหาคำตอบหลัก และ วิธีรันจ์-คัตตาออร์เดอร์ 3 เป็นวิธีหาคำตอบเปรียบเทียบ จากสับรูทีน ตรวจเช็ดความผิดพลาดในแต่ละจุด (Relative Error) ซึ่งจะใช้ผลต่างของคำตอบของสมการจากการหา 2 วิธีเป็นค่าความผิดพลาด และจะใช้ค่าความผิดพลาดของตัวแปรที่มีค่าสูงสุดเป็นเงื่อนไขในการปรับช่วงห่างของโปรแกรม

4.8.1.11 เพื่อให้โปรแกรมทำงานได้คล่องและรวดเร็ว จึงใช้ค่าความผิดพลาดที่มากที่สุดของตัวแปร มาเป็นเงื่อนไขในการปรับค่า ช่วงห่างของโปรแกรม ดังต่อไปนี้

$$Z = \begin{cases} 2 \times Z_o & \text{กรณี } EA < 0.001 \\ Z_o & \text{กรณี } 0.001< EA < 0.01 \\ Z_o / 2 & \text{กรณี } EA > 0.01 \end{cases}$$

4.8.1.12 คำนวณค่า ความร้อนแฝงของการระเหยเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อน และ คำนวณค่า อุณหภูมิวัสดุที่ช่วงอัตราการอบแห้งที่ช้าลง Ts'

4.8.1.13 พิมพ์ค่าตัวแปรที่ต้องการ เช่น ความยาวของท่ออบแห้ง, อุณหภูมิของลมร้อน, อุณหภูมิของวัสดุ, ความชื้นของวัสดุ, ความชื้นของลมร้อน, ความเร็วของวัสดุ, ความเร็วของลมร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.8.1.14 ตรวจเช็คค่าความชื้นวัสดุ w น้อยกว่าค่าความชื้นวิกฤต w_c หรือไม่

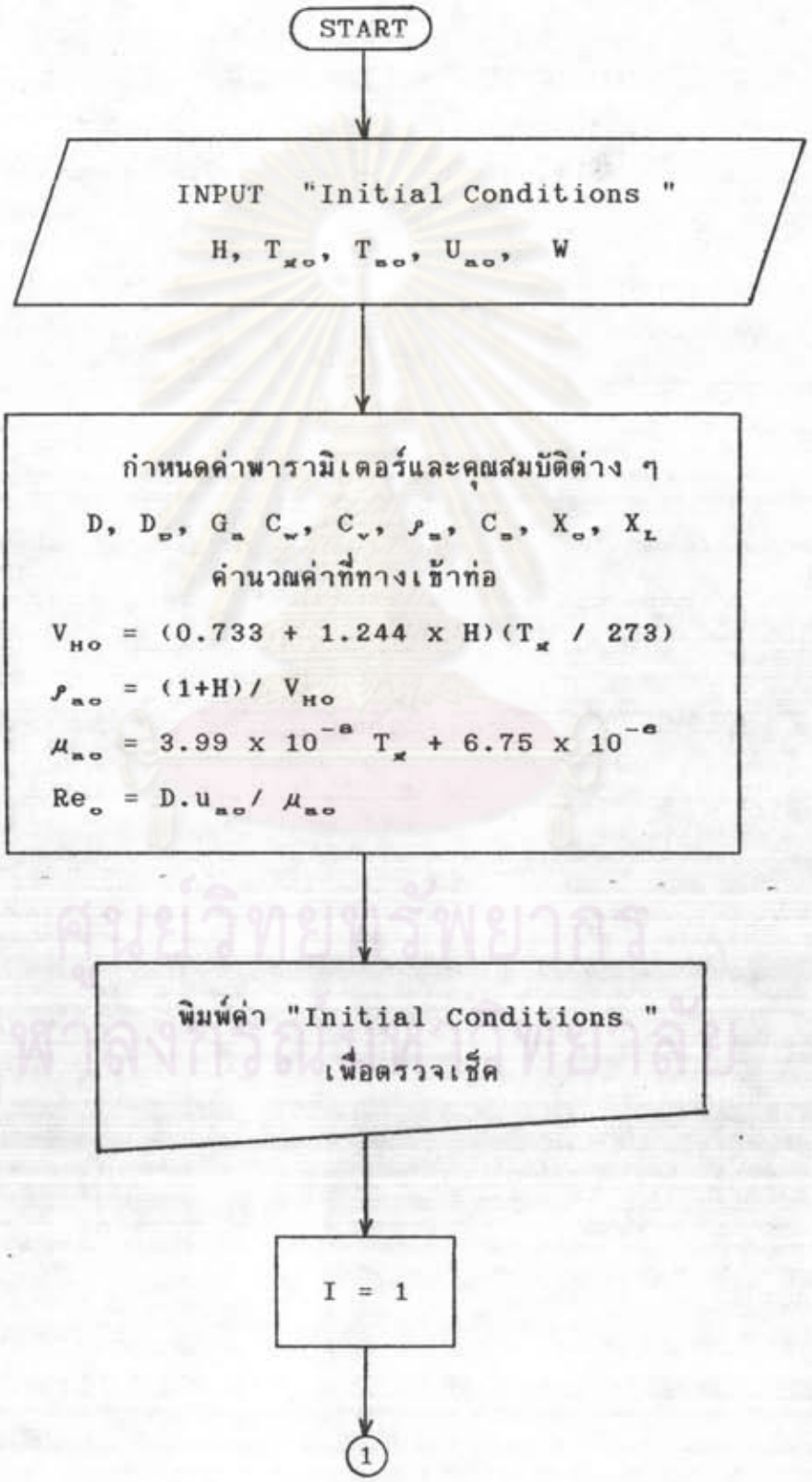
- ถ้าน้อยกว่า พิมพ์ค่า Ts'
- ถ้ามากกว่าทำขั้นตอนต่อไป

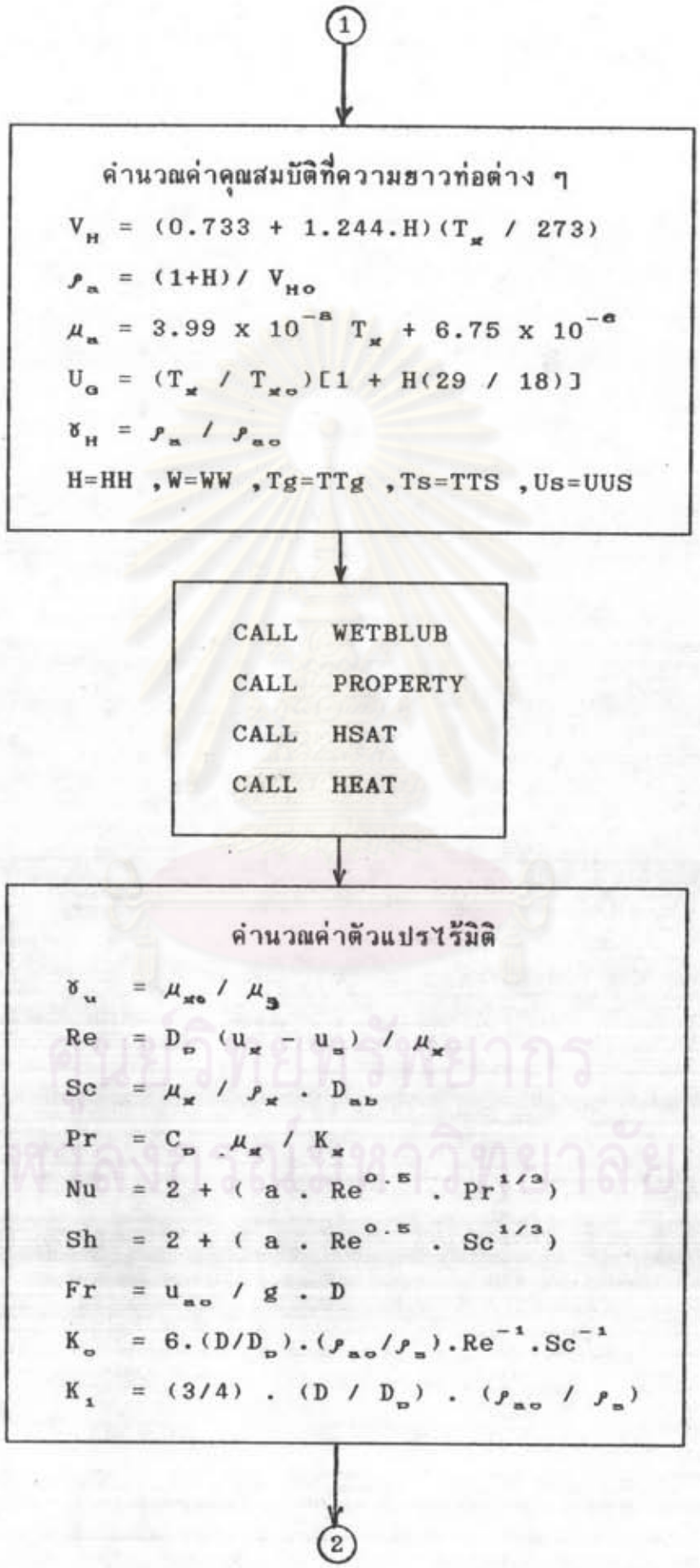
4.8.1.15 ตรวจเช็คค่าความยาวของท่ออบแห้งที่ คำนวณเท่ากับความยาวของท่ออบแห้งจริงหรือไม่

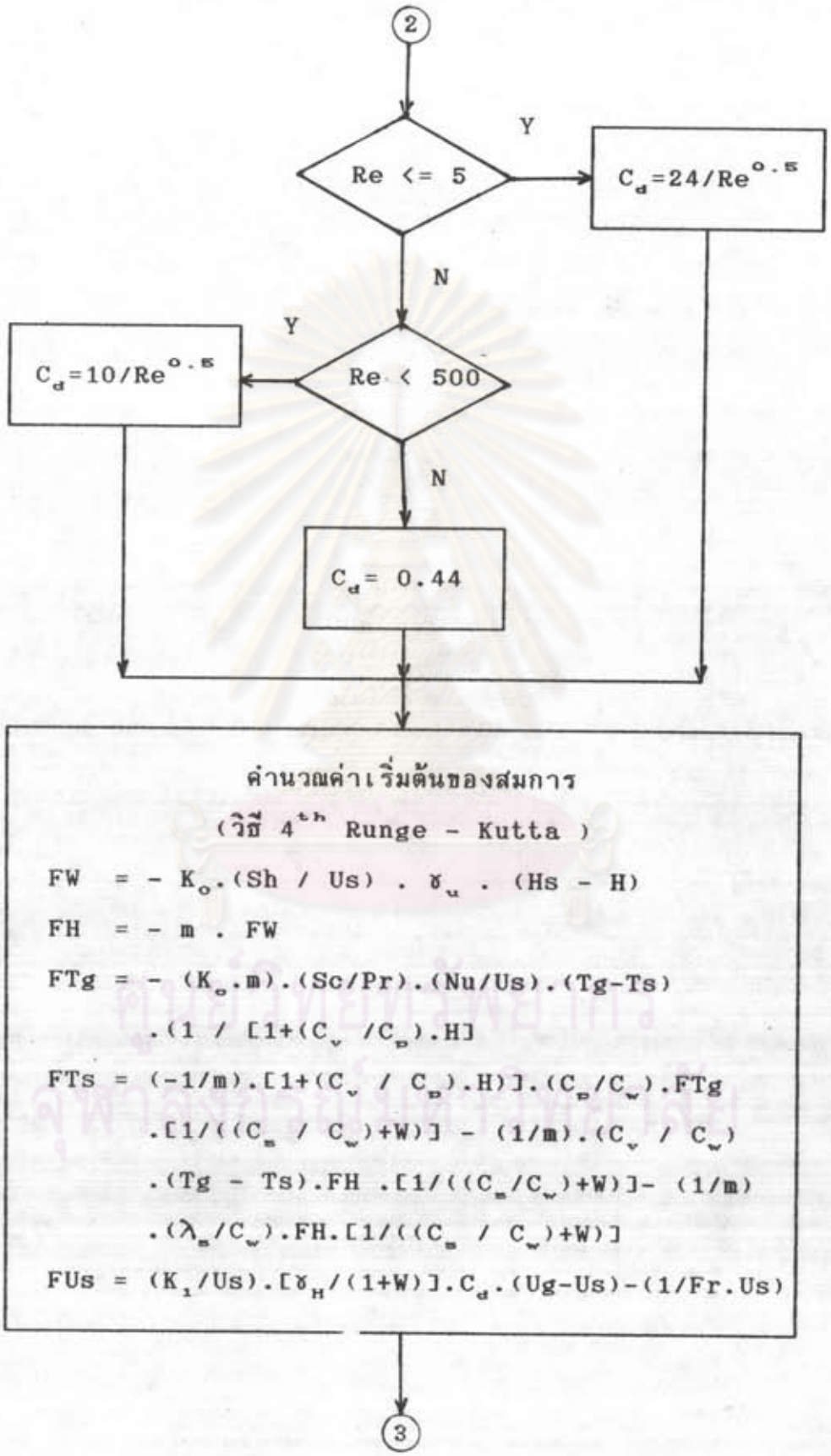
- ถ้ายังไม่เท่า ให้กลับไปคำนวณตามขั้นตอนที่ 4.7.1.6
- ถ้าเท่าแล้ว ให้พิมพ์ค่าตัวแปรต่างๆ ตามข้อ 4.7.1.13 ที่ความยาวของท่ออบแห้งสุดท้าย และสิ้นสุดการซิมูเลตโปรแกรม

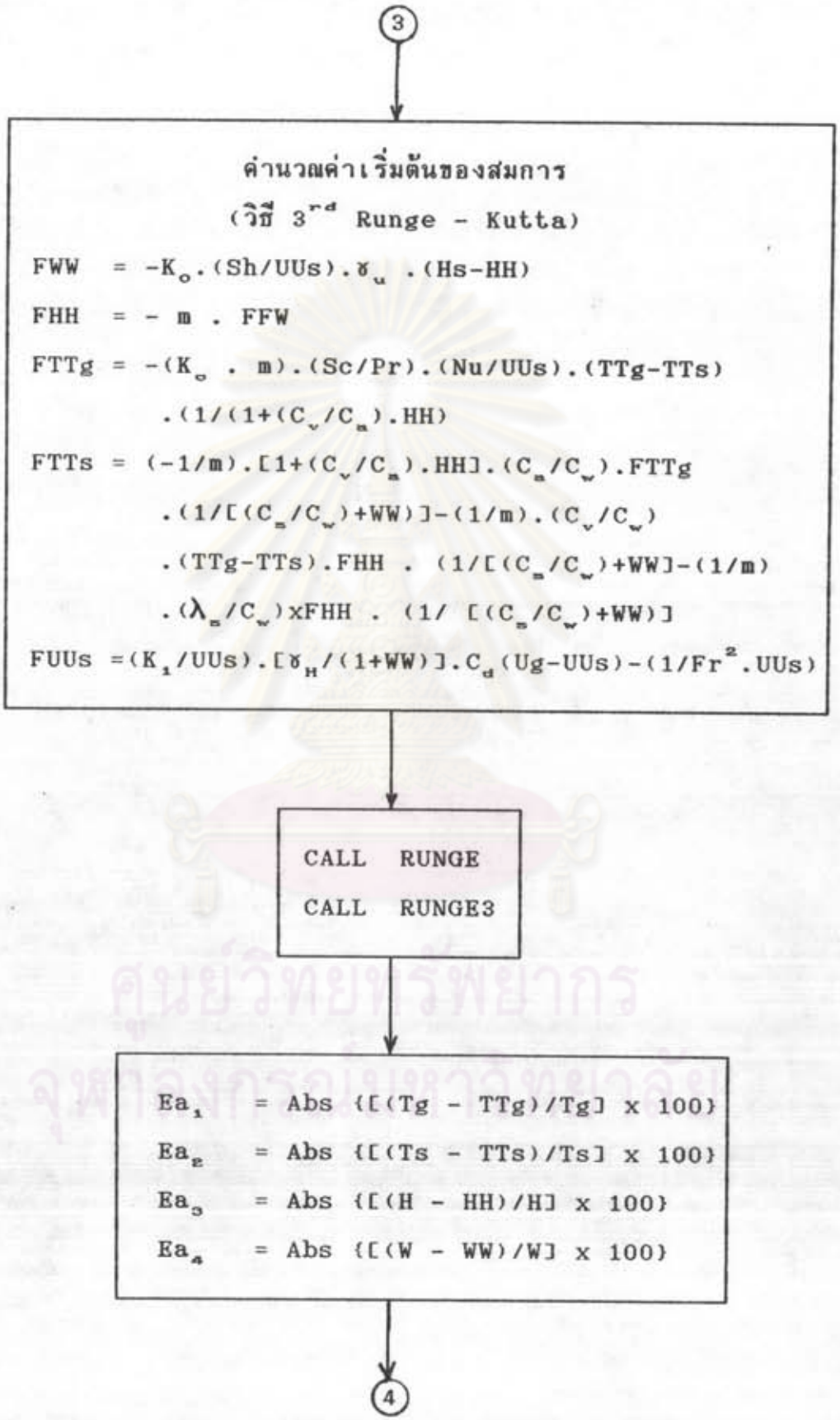
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

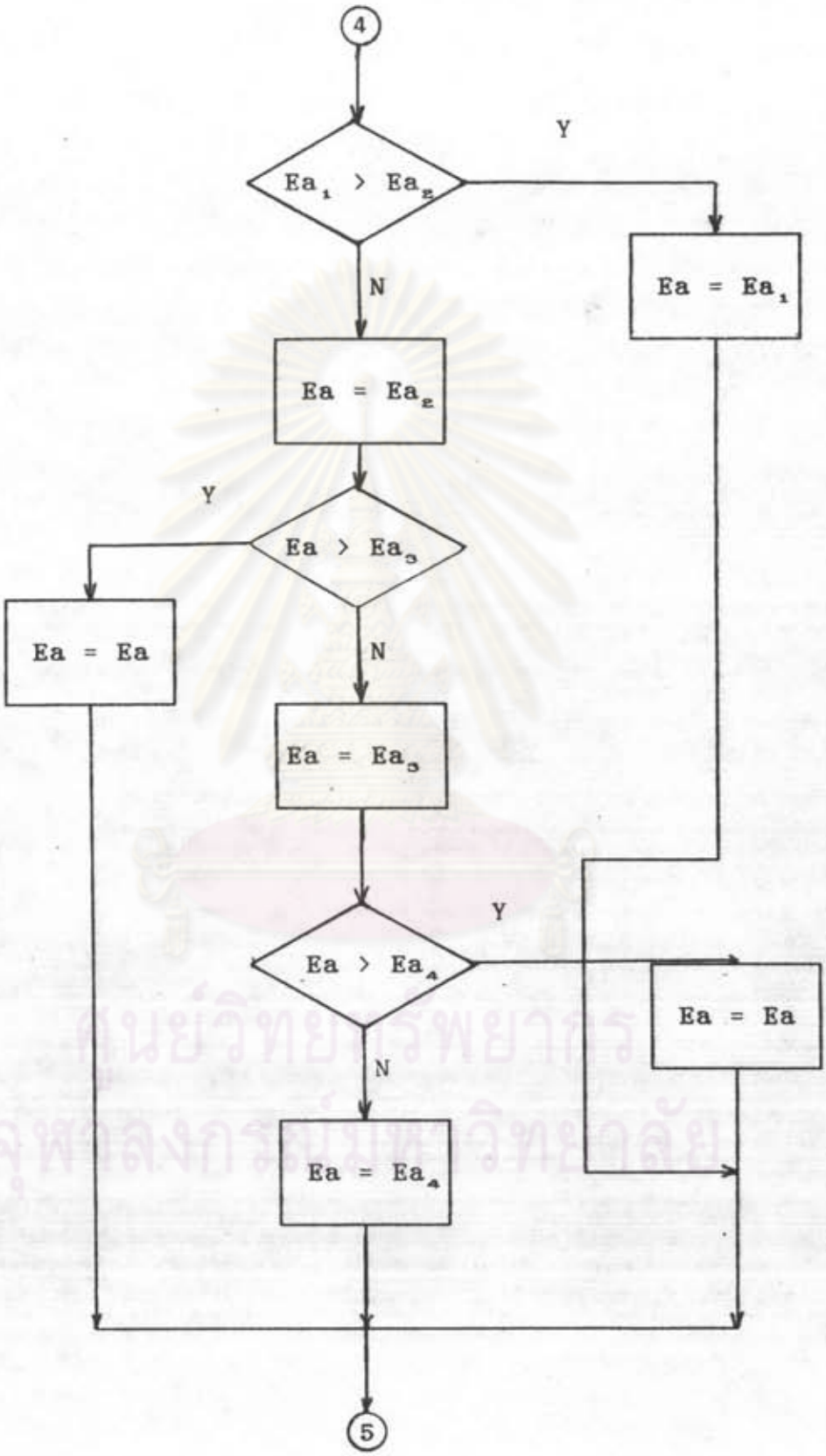
4.8.2 แผนผังการคำนวณของโปรแกรมชิมูเลชัน



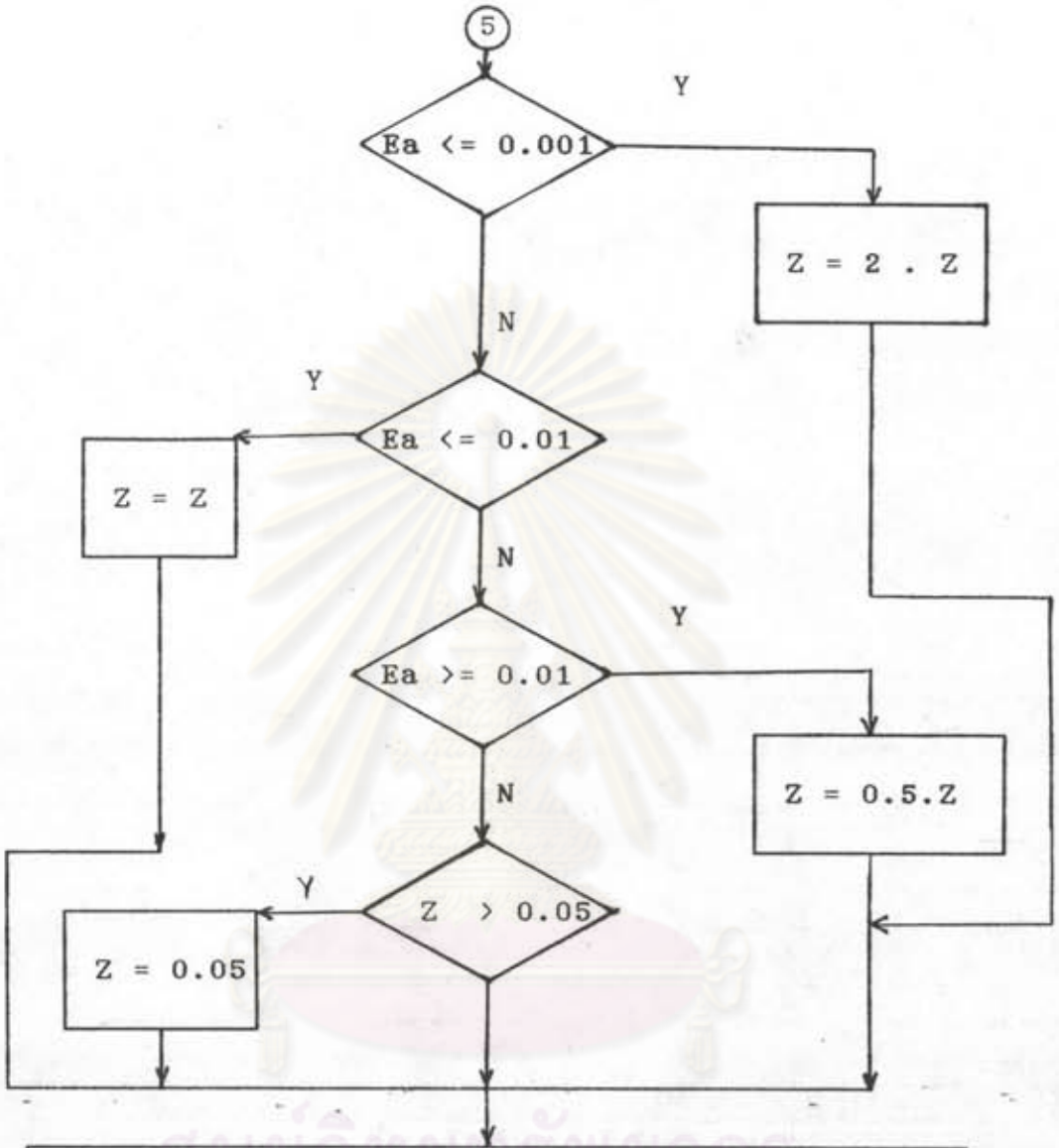

1
คำนวณค่าคุณสมบัติที่ความยาวท่อต่าง ๆ
$V_H = (0.733 + 1.244.H)(T_g / 273)$
$\rho_a = (1+H)/ V_{Ho}$
$\mu_a = 3.99 \times 10^{-8} T_g + 6.75 \times 10^{-6}$
$U_G = (T_g / T_{go})[1 + H(29 / 18)]$
$\delta_H = \rho_a / \rho_{ao}$
H=HH ,W=WW ,Tg=TTg ,Ts=TTS ,Us=UUS
CALL WETBLUB
CALL PROPERTY
CALL HSAT
CALL HEAT
คำนวณค่าตัวแปรไร้มิติ
$\delta_u = \mu_{go} / \mu_g$
$Re = D_p (u_g - u_s) / \mu_g$
$Sc = \mu_g / \rho_g . D_{ab}$
$Pr = C_p . \mu_g / K_g$
$Nu = 2 + (a . Re^{0.5} . Pr^{1/3})$
$Sh = 2 + (a . Re^{0.5} . Sc^{1/3})$
$Fr = u_{ao} / g . D$
$K_o = 6.(D/D_p).(\rho_{ao}/\rho_s).Re^{-1}.Sc^{-1}$
$K_1 = (3/4) . (D / D_p) . (\rho_{ao} / \rho_s)$
2


2
Re <= 5
Y
$C_d=24/Re^{0.5}$
N
Y
$C_d=10/Re^{0.5}$
Re < 500
N
C_d= 0.44
คำนวณค่าเริ่มต้นของสมการ
(วิธี 4th Runge - Kutta)
FW = - K_o.(Sh / Us) . γ_u . (Hs - H)
FH = - m . FW
FTg = - (K_o.m).(Sc/Pr).(Nu/Us).(Tg-Ts)
.(1 / [1+(C_v /C_p).H]
FTs = (-1/m).[1+(C_v / C_p).H)].(C_p/C_w).FTg
.[1/((C_m / C_w)+W)] - (1/m).(C_v / C_w)
.(Tg - Ts).FH .[1/((C_m/C_w)+W)]- (1/m)
.(λ_m/C_w).FH.[1/((C_m / C_w)+W)]
FUs = (K_1/Us).[γ_H/(1+W)].C_d.(Ug-Us)-(1/Fr.Us)
3


3
ค่านวณค่าเริ่มต้นของสมการ
(วิธี 3rd Runge - Kutta)
FWW = -Ko.(Sh/UUs).σu .(Hs-HH)
FHH = - m . FFW
FTTg = -(Ko . m).(Sc/Pr).(Nu/UUs).(TTg-TTs)
.(1/(1+(Cv/Cm).HH)
FTTs = (-1/m).[1+(Cv/Cm).HH].(Cm/Cw).FTTg
.(1/[(Cm/Cw)+WW)]-(1/m).(Cv/Cw)
.(TTg-TTs).FHH . (1/[(Cm/Cw)+WW]-(1/m)
.(λm/Cw)xFHH . (1/ [(Cm/Cw)+WW)]
FUUs =(K1/UUs).[σH/(1+WW)].Cd(Ug-UUs)-(1/Fr2.UUs)
CALL RUNGE
CALL RUNGE3
Ea1 = Abs {[(Tg - TTg)/Tg] x 100}
Ea2 = Abs {[(Ts - TTs)/Ts] x 100}
Ea3 = Abs {[(H - HH)/H] x 100}
Ea4 = Abs {[(W - WW)/W] x 100}
4



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ค่านวณค่า

$DH = G_o \times (H_2 - H_1)$, $DW = W_o \times (W_2 - W_1)$

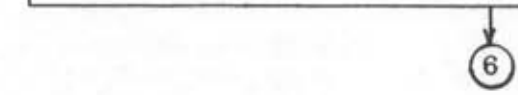
$r_w = 1075.8965-0.5683(1.8*TW-491.69)$

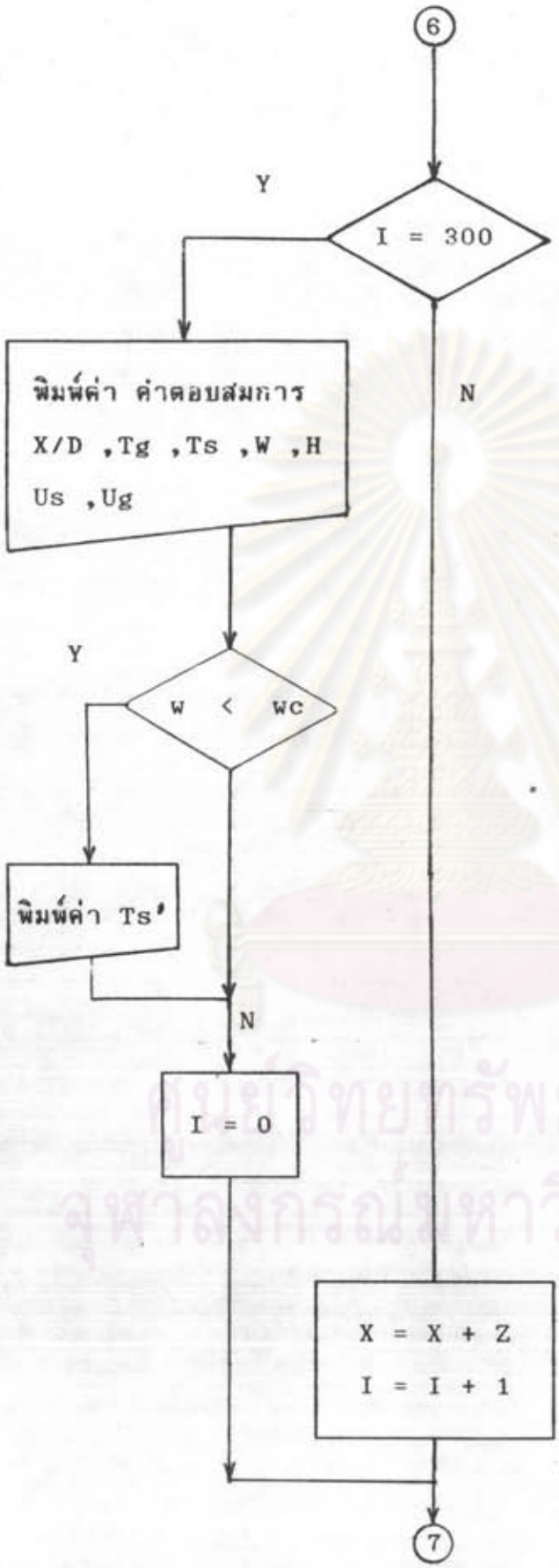
$W_o = 0.1$, $W_c = 0.17$

$F = W-W_o$, $Fc = W_c-W_o$

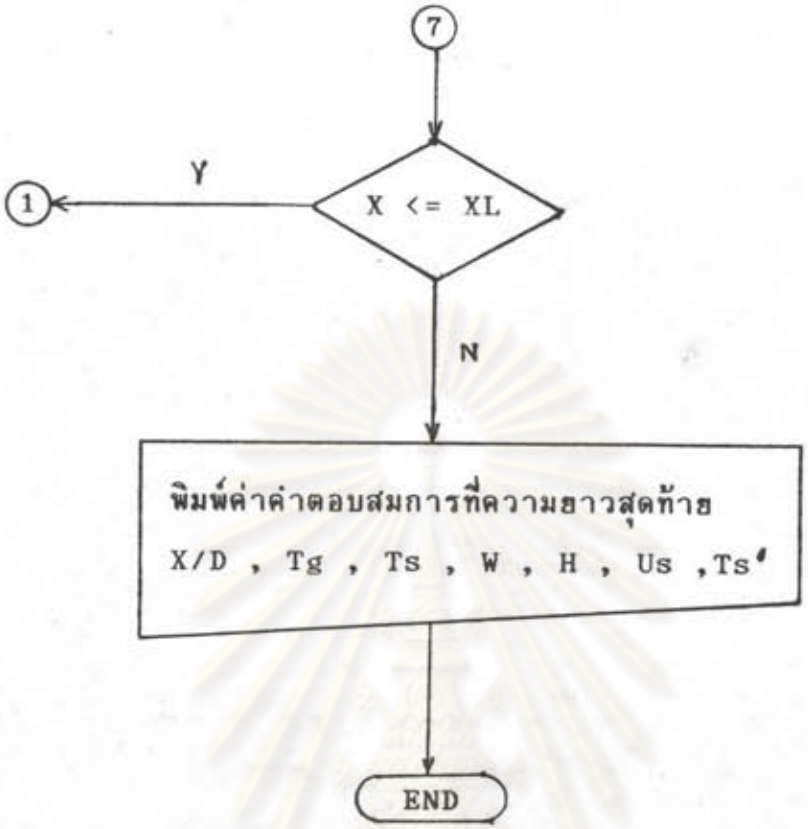
$Ts^{\circ} = Tg-((Tg-TW).A$

$$A = \frac{[r_w F-C_a(Tg-TW)(F/Fc)^{For_w/(C_a(Tg-TW))}]}{r_w Fc - C_a(Tg-TW)}$$



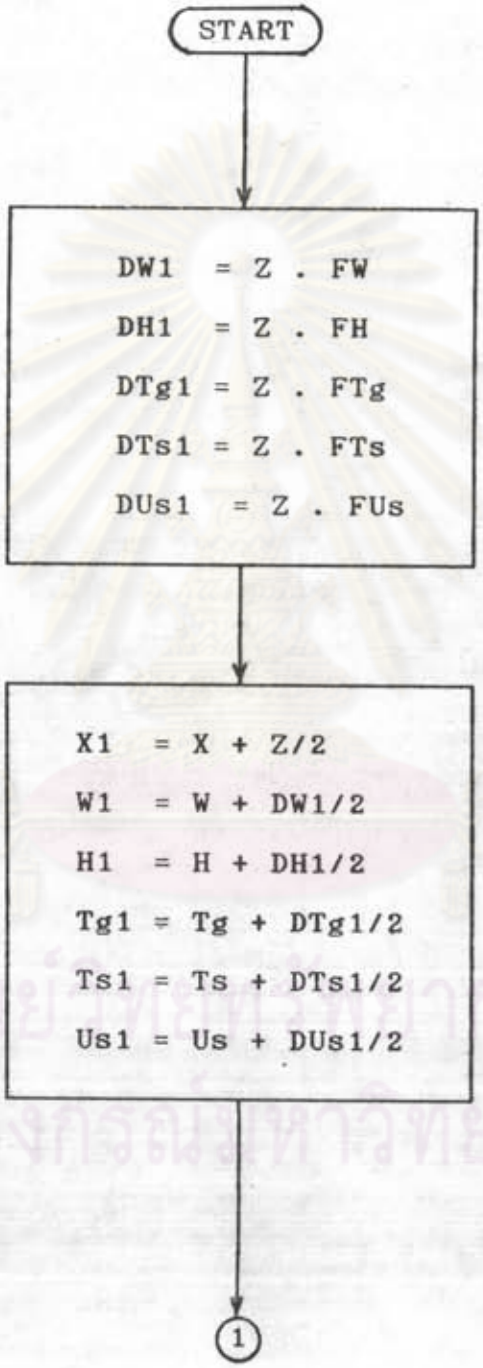


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

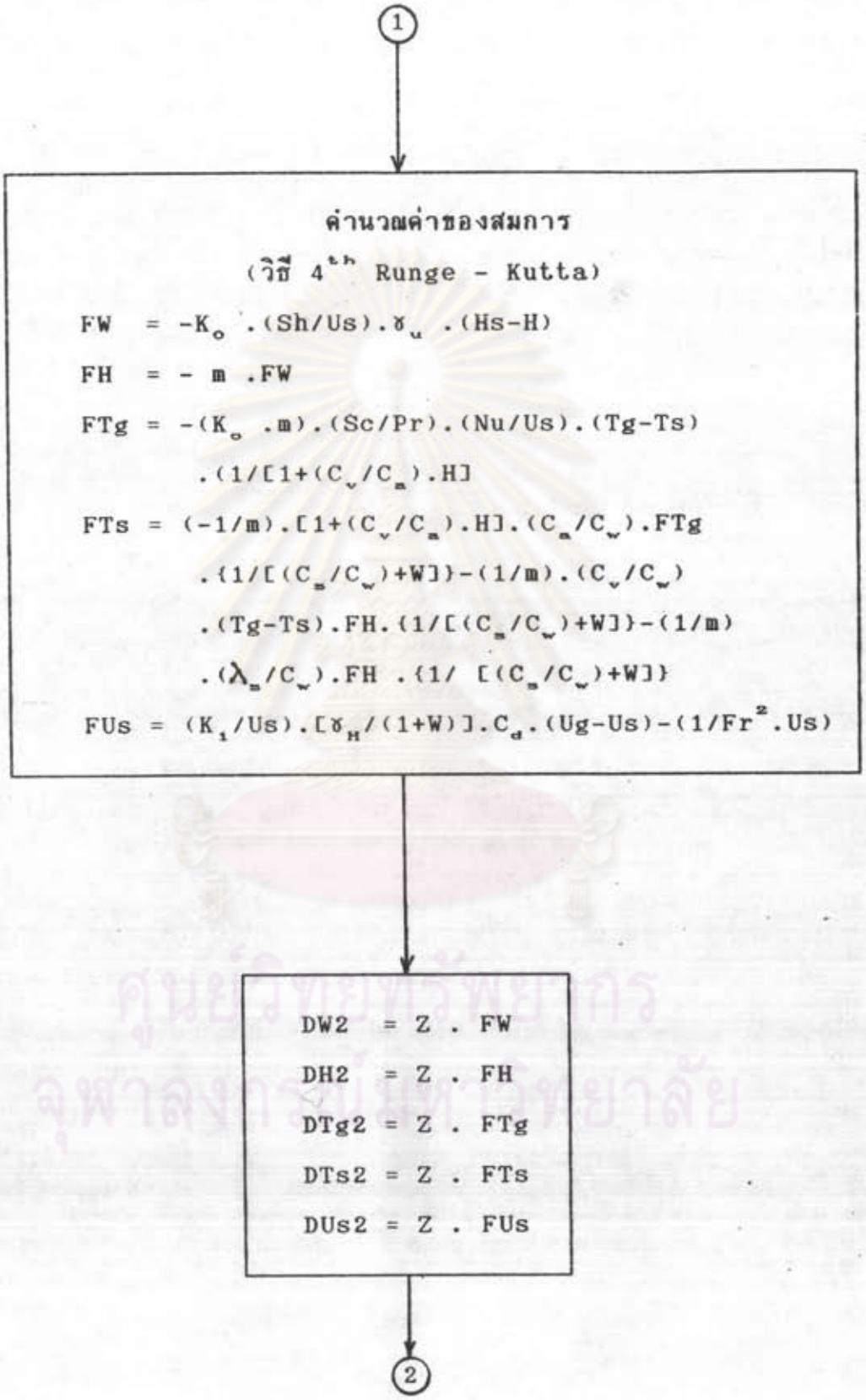


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SUB RUNGE



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


1
คำนวณค่าของสมการ
(วิธี 4th Runge - Kutta)
FW = -Ko .(Sh/Us).γu .(Hs-H)
FH = - m .FW
FTg = -(Ko .m).(Sc/Pr).(Nu/Us).(Tg-Ts)
.(1/[1+(Cv/Ca).H]
FTs = (-1/m).[1+(Cv/Ca).H].(Ca/Cv).FTg
.{1/[(Ca/Cv)+W]}-(1/m).(Cv/Cv)
.(Tg-Ts).FH.{1/[(Ca/Cv)+W]}-(1/m)
.(λa/Cv).FH .{1/ [(Ca/Cv)+W]}
FUs = (K1/Us).[γH/(1+W)].Cd.(Ug-Us)-(1/Fr2.Us)
DW2 = Z . FW
DH2 = Z . FH
DTg2 = Z . FTg
DTs2 = Z . FTs
DUs2 = Z . FUs
2

(2)

$W1 = W + DW2/2$

$H1 = H + DH2/2$

$Tg1 = Tg + DTg2/2$

$Ts1 = Ts + DTs2/2$

$Us1 = Us + DUs2/2$

คำนวณค่าของสมการ

(วิธี 4th Runge - Kutta)

$$FW = - K_o.(Sh/Us).\gamma_u.(Hs-H)$$

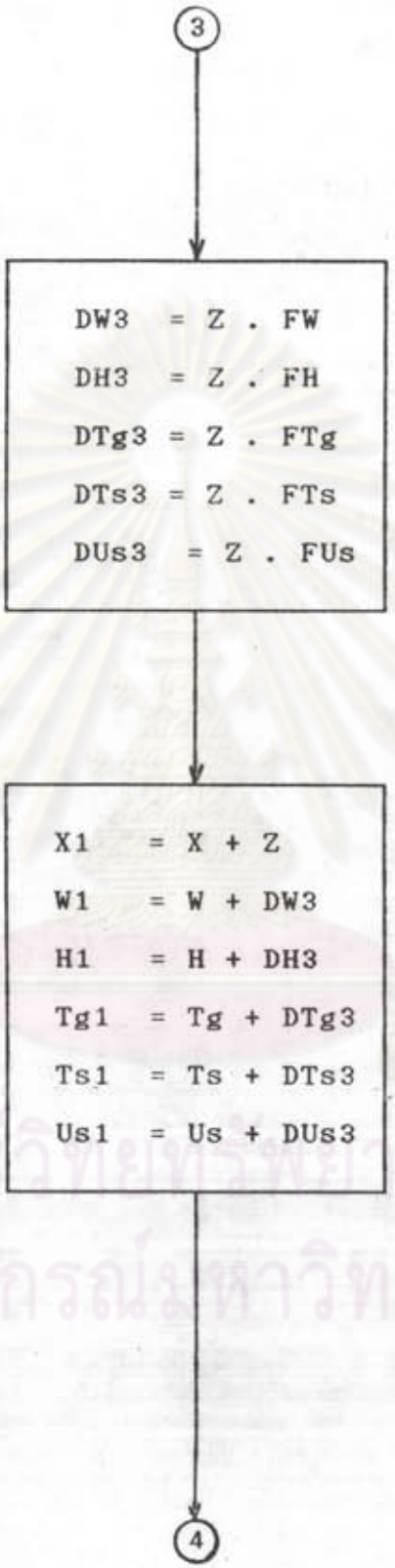
$$FH = - m.FW$$

$$FTg = - (K_o.m).(Sc/Pr).(Nu/Us).(Tg-Ts) .\{(1/[1+(C_v/C_a).H]\}$$

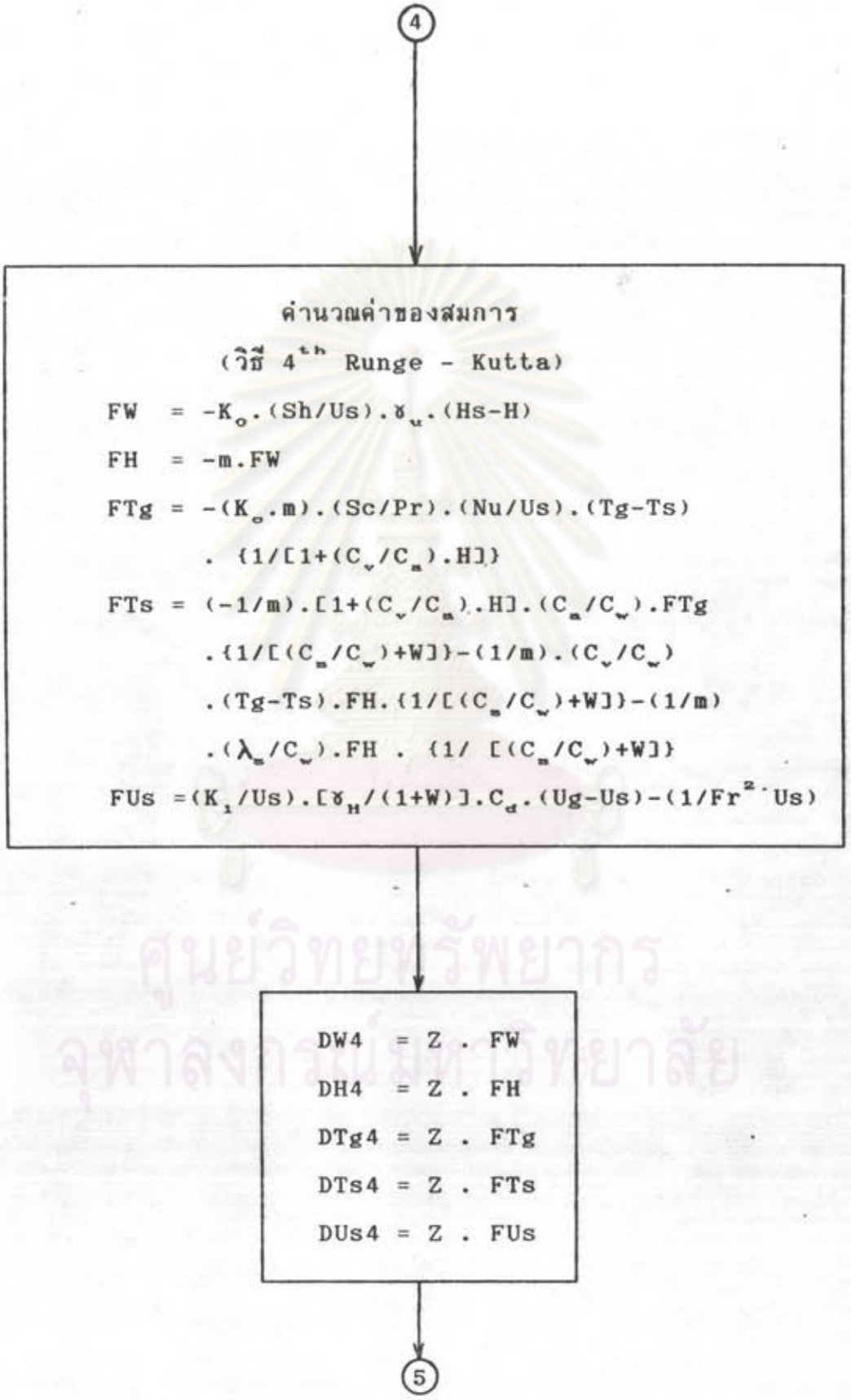
$$FTs = (-1/m).[1+(C_v/C_a).H].(C_a/C_w).FTg .\{1/[(C_s/C_w)+W]\}-(1/m).(C_v/C_w) .(Tg-Ts).FH.\{1/[(C_s/C_w)+W]\}-(1/m) .(\lambda_s/C_w).FH.\{1/[(C_s/C_w)+W]\}$$

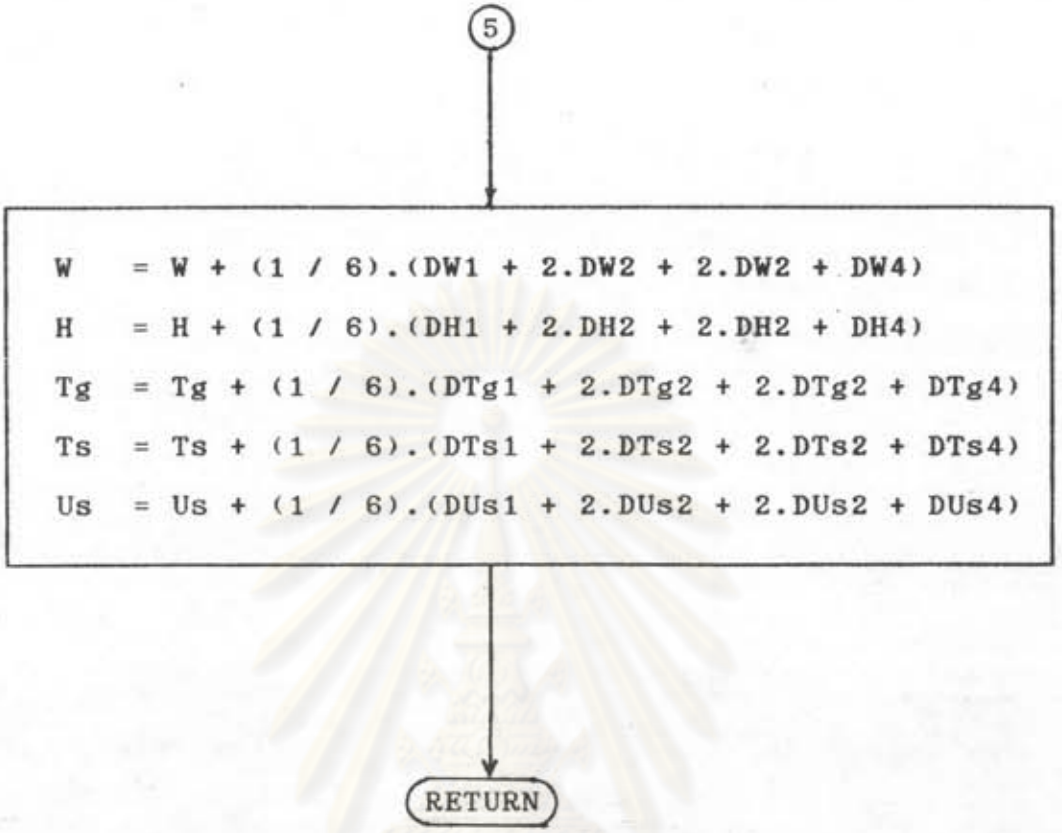
$$FUs = (K_1/Us).[\gamma_H/(1+W)].C_d.(Ug-Us)-(1/Fr^2.Us)$$

(3)



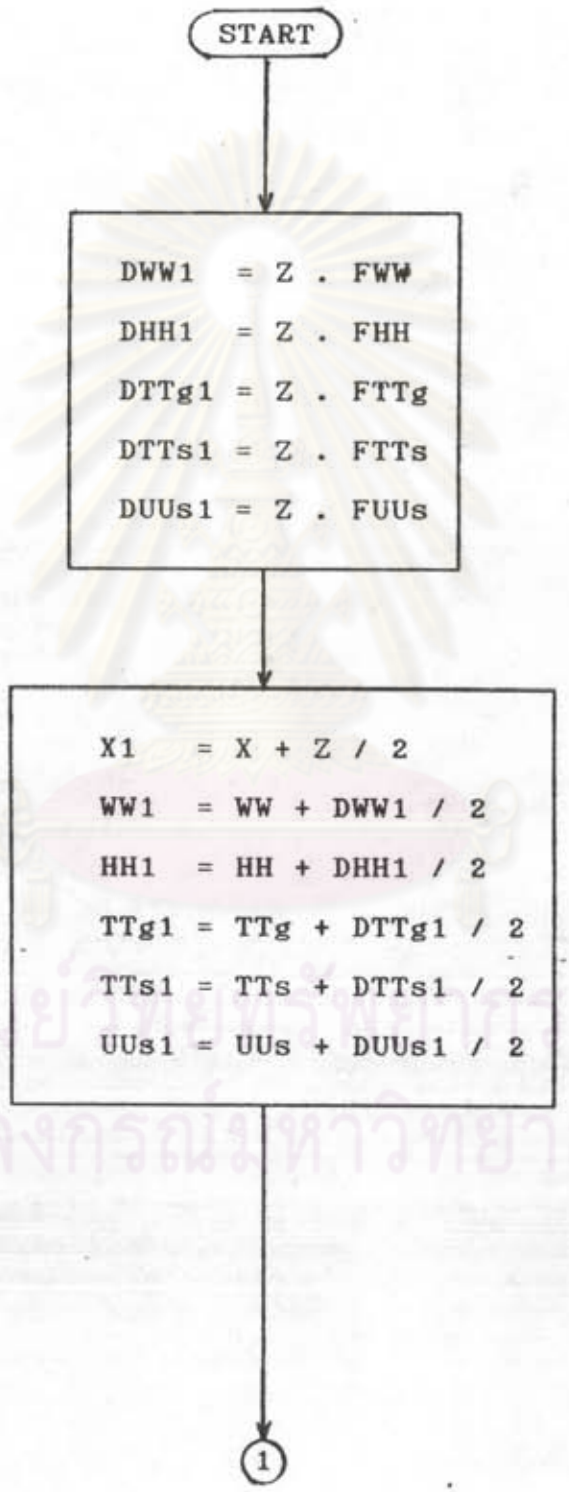
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


4
ค่านวณค่าของสมการ
(วิธี 4th Runge - Kutta)
FW = -Ko.(Sh/Us).γu.(Hs-H)
FH = -m.FW
FTg = -(Ko.m).(Sc/Pr).(Nu/Us).(Tg-Ts)
. {1/[1+(Cv/Cm).H]}
FTs = (-1/m).[1+(Cv/Cm).H].(Cm/Cv).FTg
.{1/[(Cm/Cv)+W]}-(1/m).(Cv/Cv)
.(Tg-Ts).FH.{1/[(Cm/Cv)+W]}-(1/m)
.(λm/Cv).FH . {1/ [(Cm/Cv)+W]}
FUs =(K1/Us).[γH/(1+W)].Cd.(Ug-Us)-(1/Fr2.Us)
DW4 = Z . FW
DH4 = Z . FH
DTg4 = Z . FTg
DTs4 = Z . FTs
DUs4 = Z . FUs
5

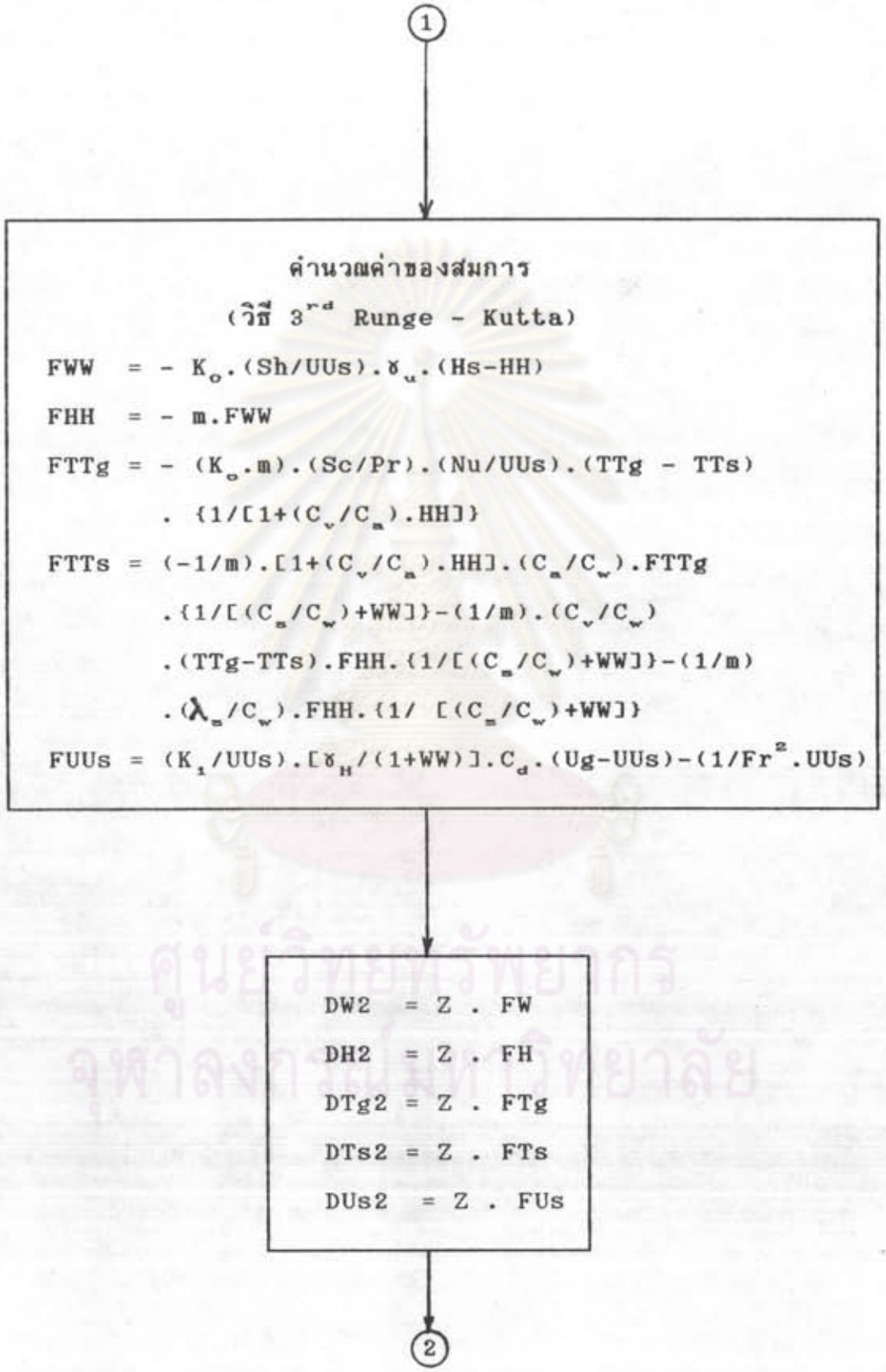


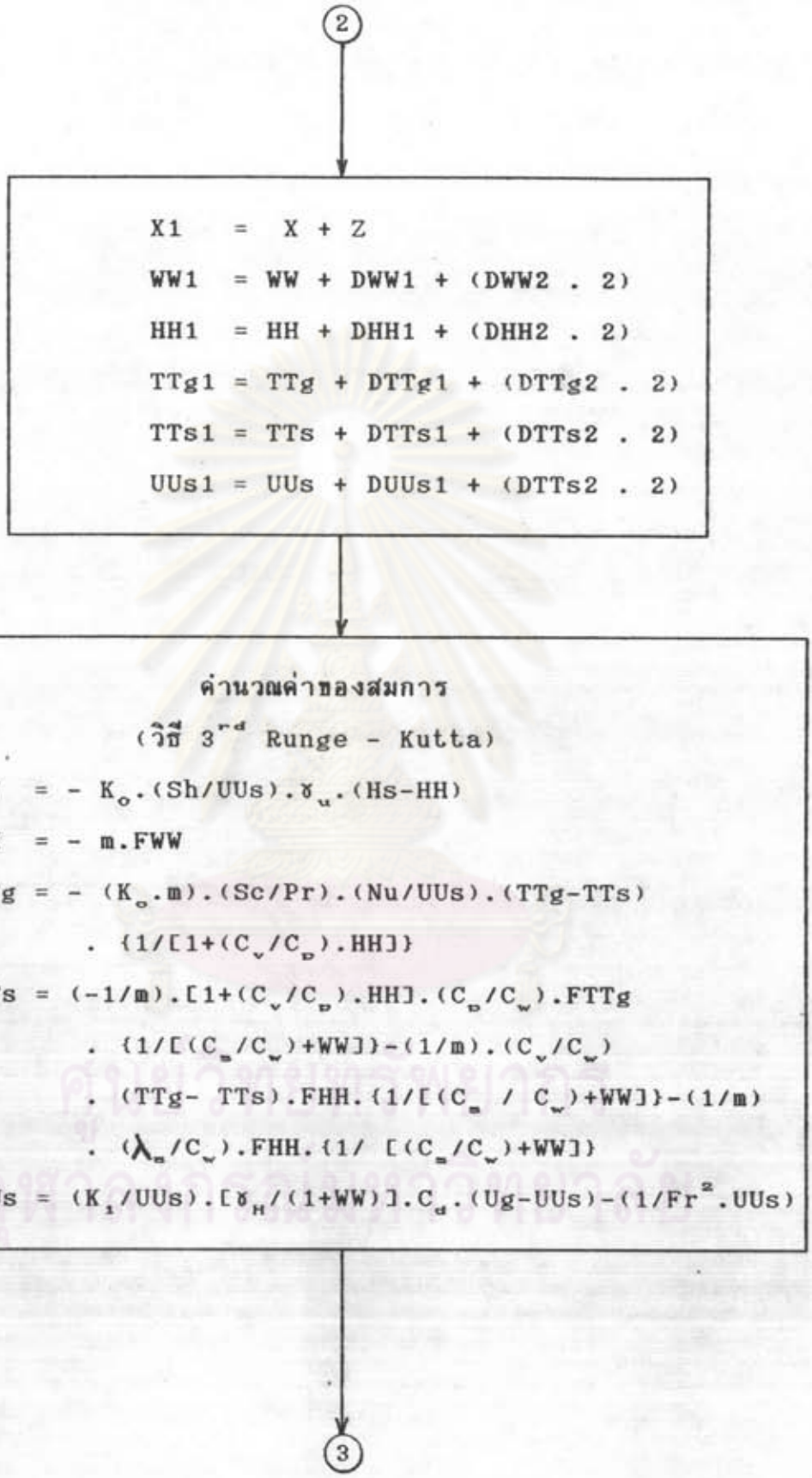
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

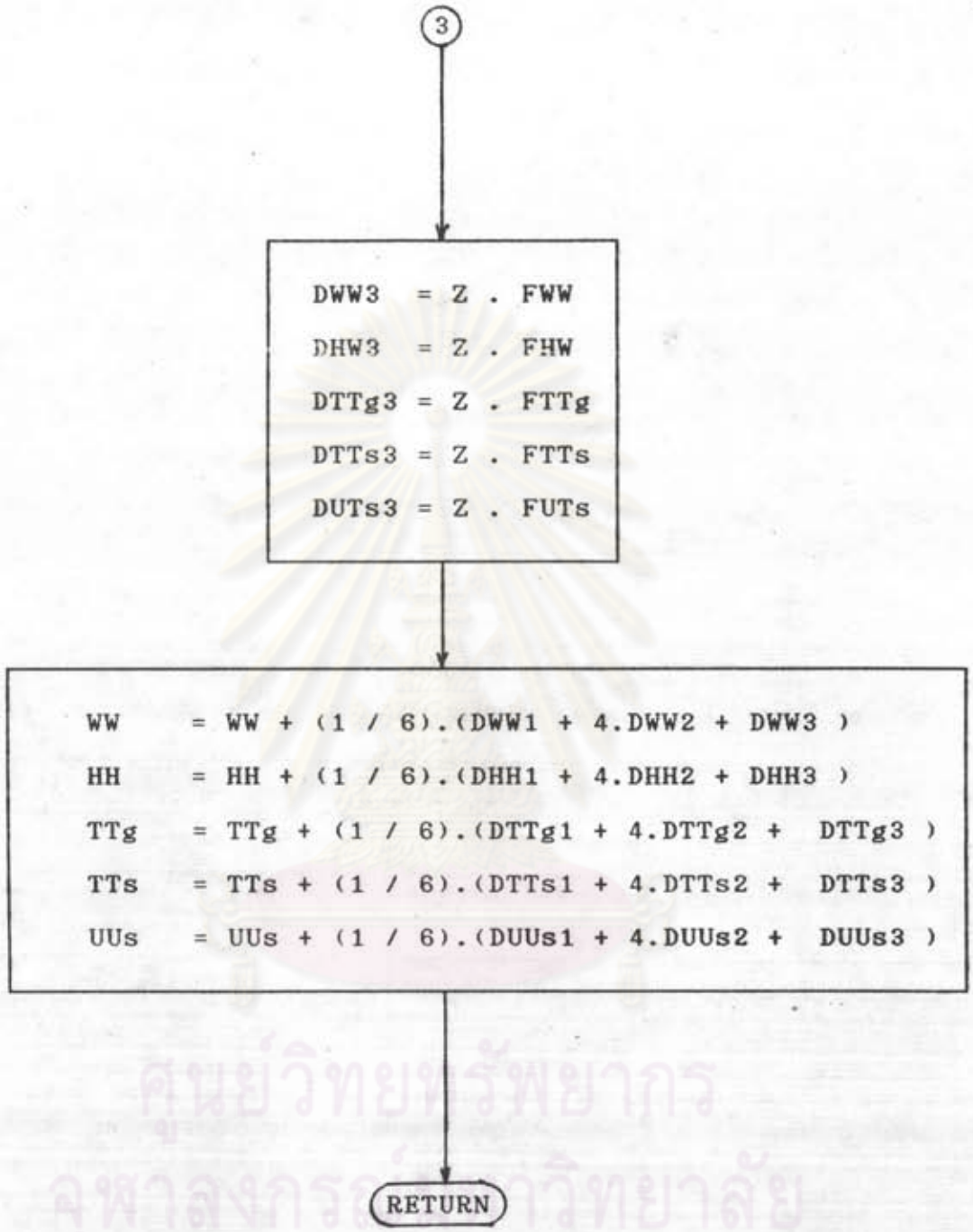
SUB RUNGE3



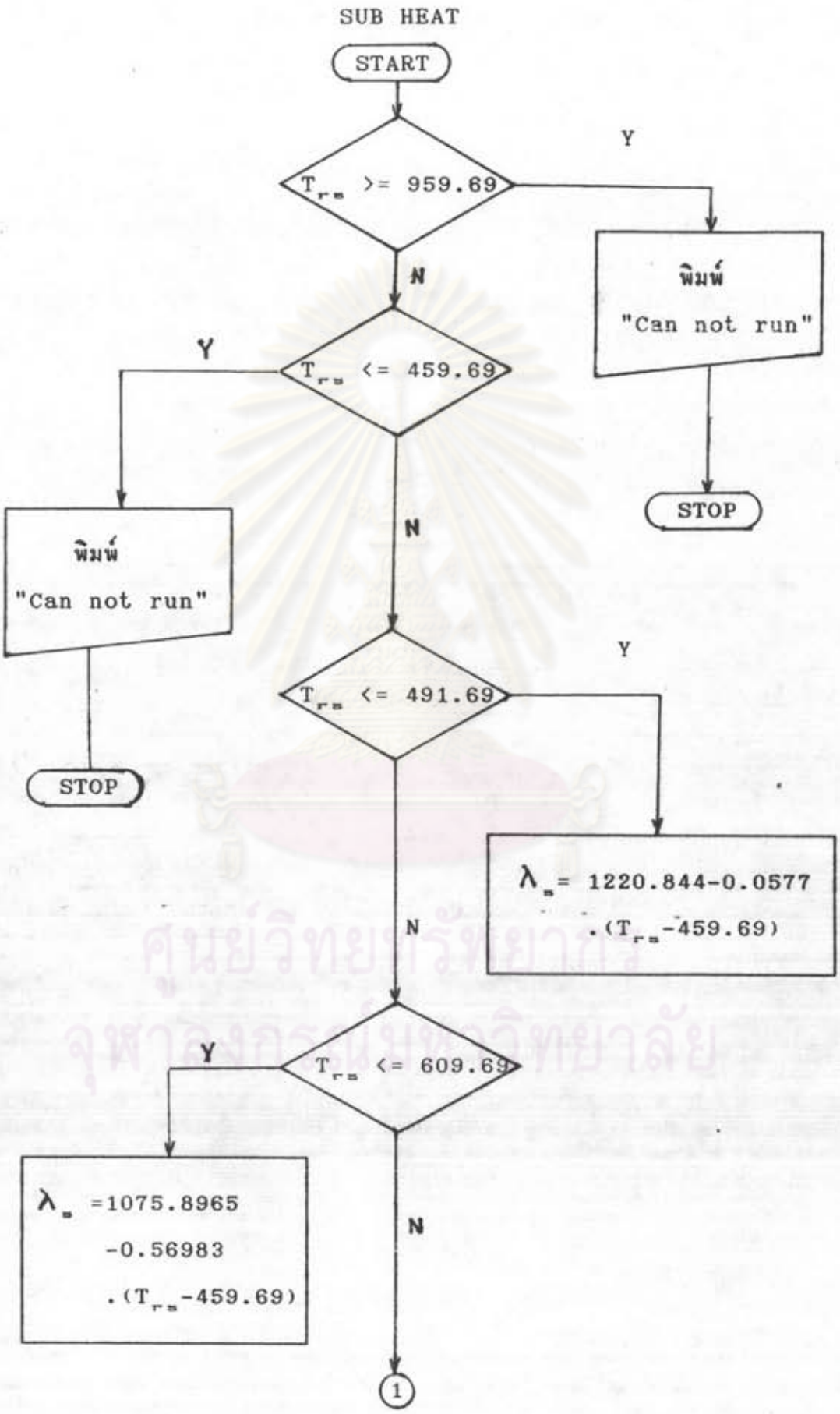
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


1
ค่านวณค่าของสมการ
(วิธี 3rd Runge - Kutta)
FWW = - Ko.(Sh/UUs).γu.(Hs-HH)
FHH = - m.FWW
FTTg = - (Ko.m).(Sc/Pr).(Nu/UUs).(TTg - TTs)
. {1/[1+(Cv/Ca).HH]}
FTTs = (-1/m).[1+(Cv/Ca).HH].(Ca/Cw).FTTg
.{1/[(Ca/Cw)+WW]}-(1/m).(Cv/Cw)
.(TTg-TTs).FHH.{1/[(Ca/Cw)+WW]}-(1/m)
.(λa/Cw).FHH.{1/ [(Ca/Cw)+WW]}
FUUs = (K1/UUs).[γH/(1+WW)].Cd.(Ug-UUs)-(1/Fr2.UUs)
DW2 = Z . FW
DH2 = Z . FH
DTg2 = Z . FTg
DTs2 = Z . FTs
DUs2 = Z . FUs
2

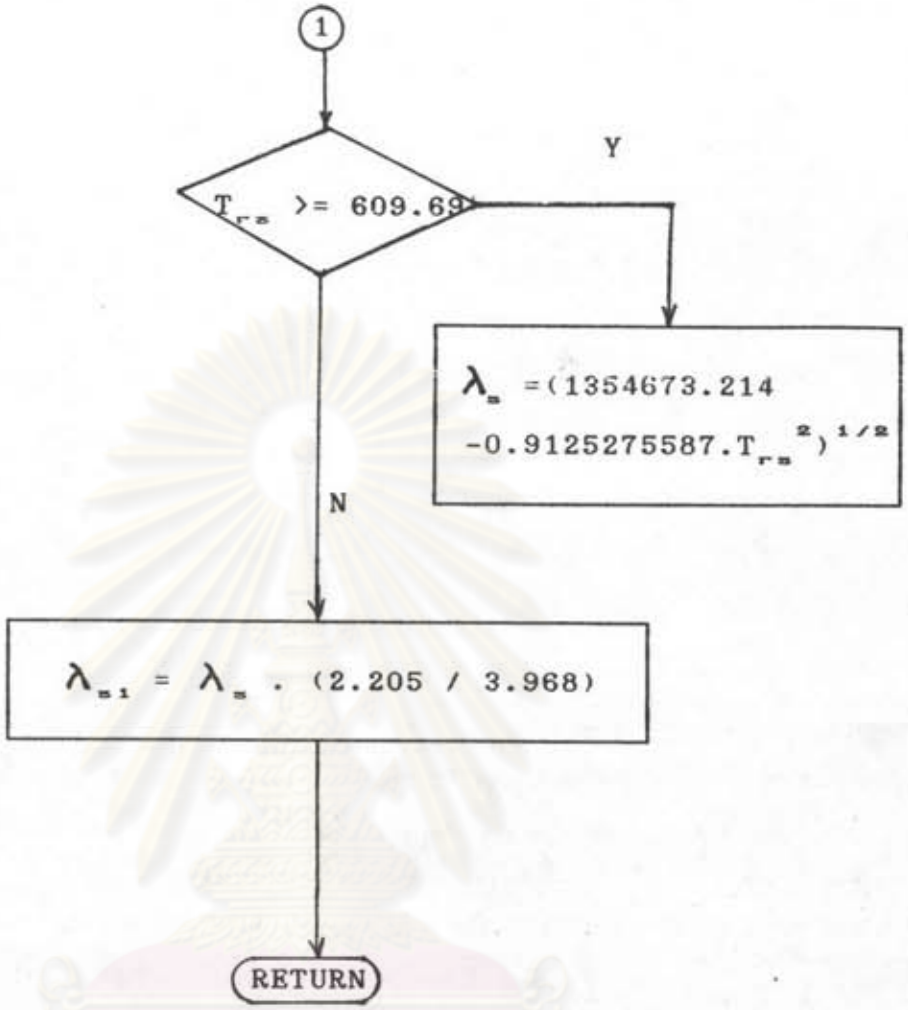

2
X1 = X + Z
WW1 = WW + DWW1 + (DWW2 . 2)
HH1 = HH + DHH1 + (DHH2 . 2)
TTg1 = TTg + DTTg1 + (DTTg2 . 2)
TTs1 = TTs + DTTs1 + (DTTs2 . 2)
UUs1 = UUs + DUUs1 + (DTTs2 . 2)
ค่านวณค่าของสมการ
(วิธี 3rd Runge - Kutta)
FWW = - K_o.(Sh/UUs).ϑ_u.(Hs-HH)
FHH = - m.FWW
FTTg = - (K_o.m).(Sc/Pr).(Nu/UUs).(TTg-TTs)
. {1/[1+(C_v/C_p).HH]}
FTTs = (-1/m).[1+(C_v/C_p).HH].(C_p/C_w).FTTg
. {1/[(C_s/C_w)+WW]}-(1/m).(C_v/C_w)
. (TTg- TTs).FHH.{1/[(C_s / C_w)+WW]}-(1/m)
. (λ_s/C_w).FHH.{1/ [(C_s/C_w)+WW]}
FUUs = (K_1/UUs).[ϑ_H/(1+WW)].C_d.(Ug-UUs)-(1/Fr^2.UUs)
3



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

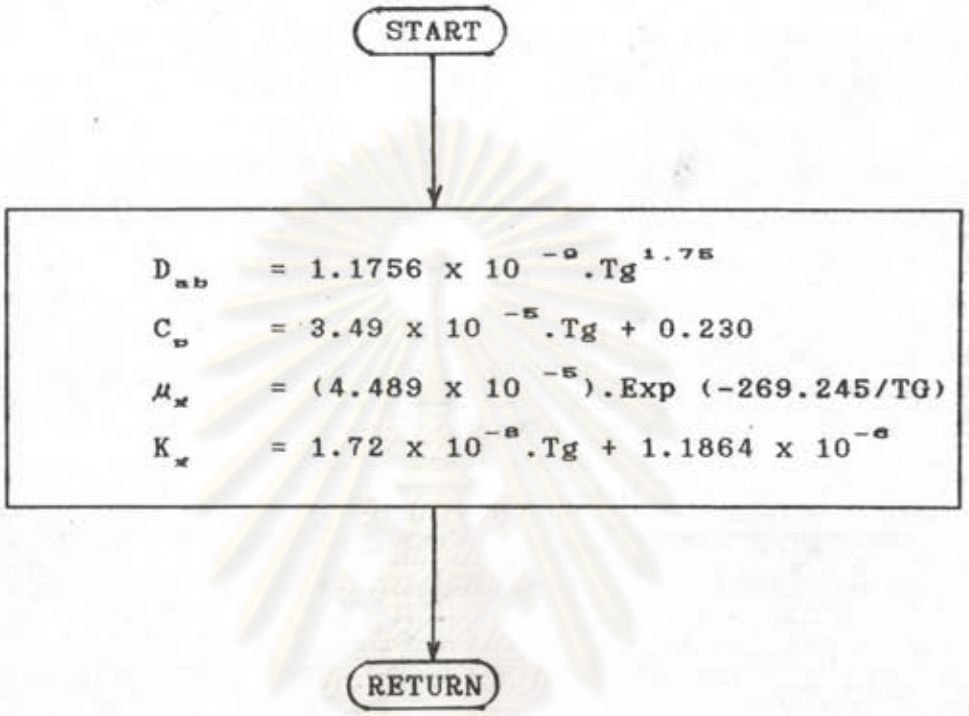


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



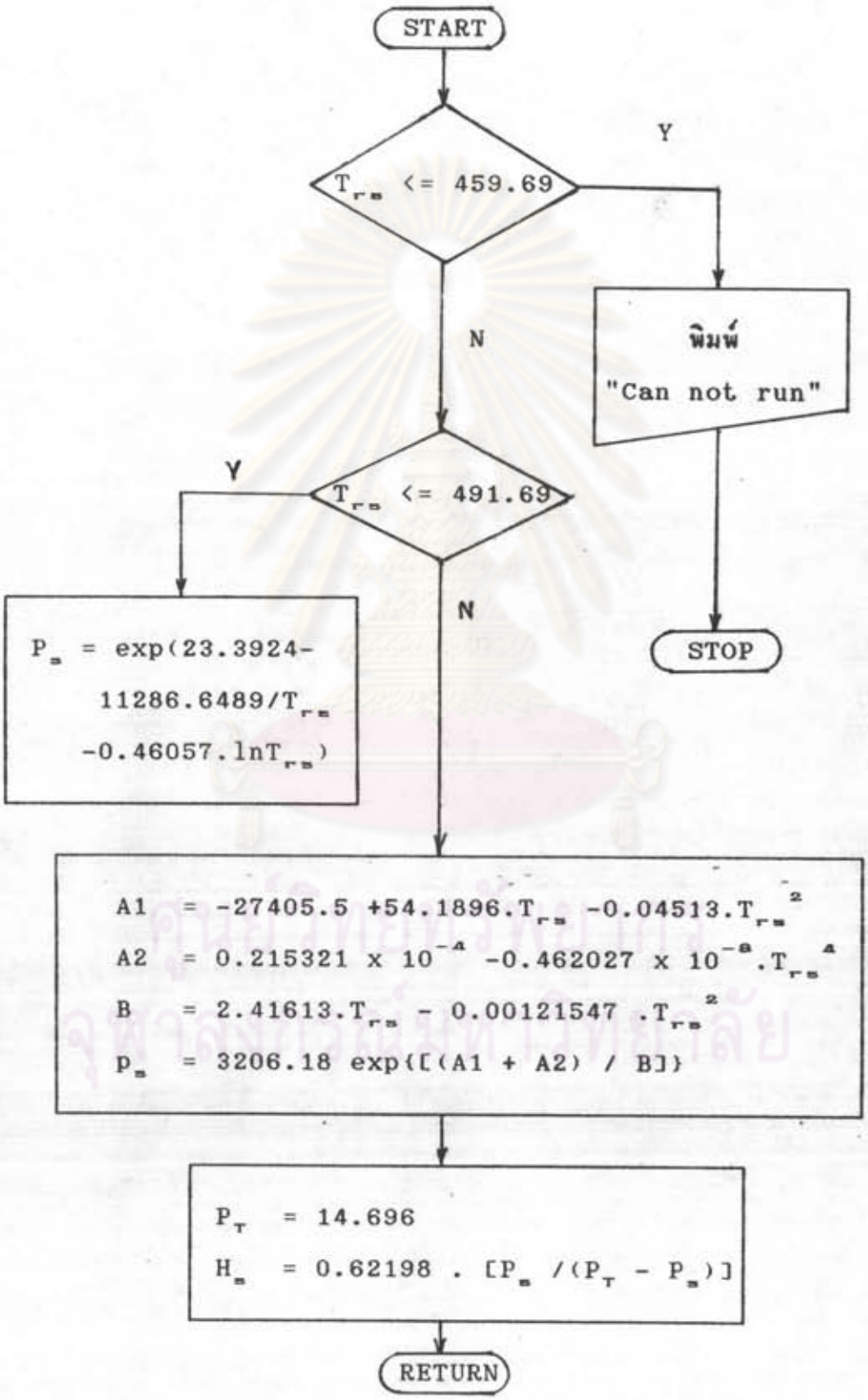
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SUB PROPERTY

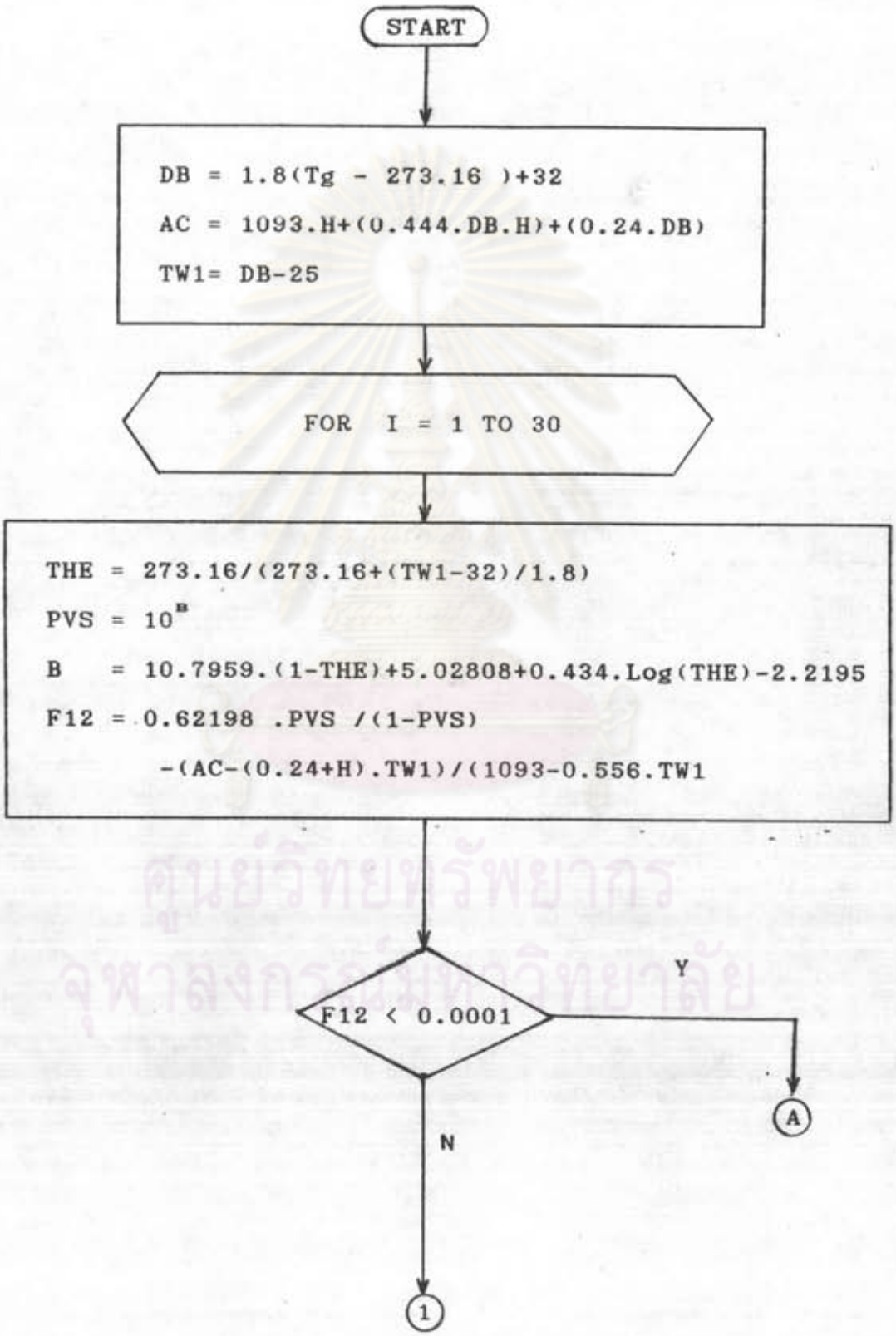


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

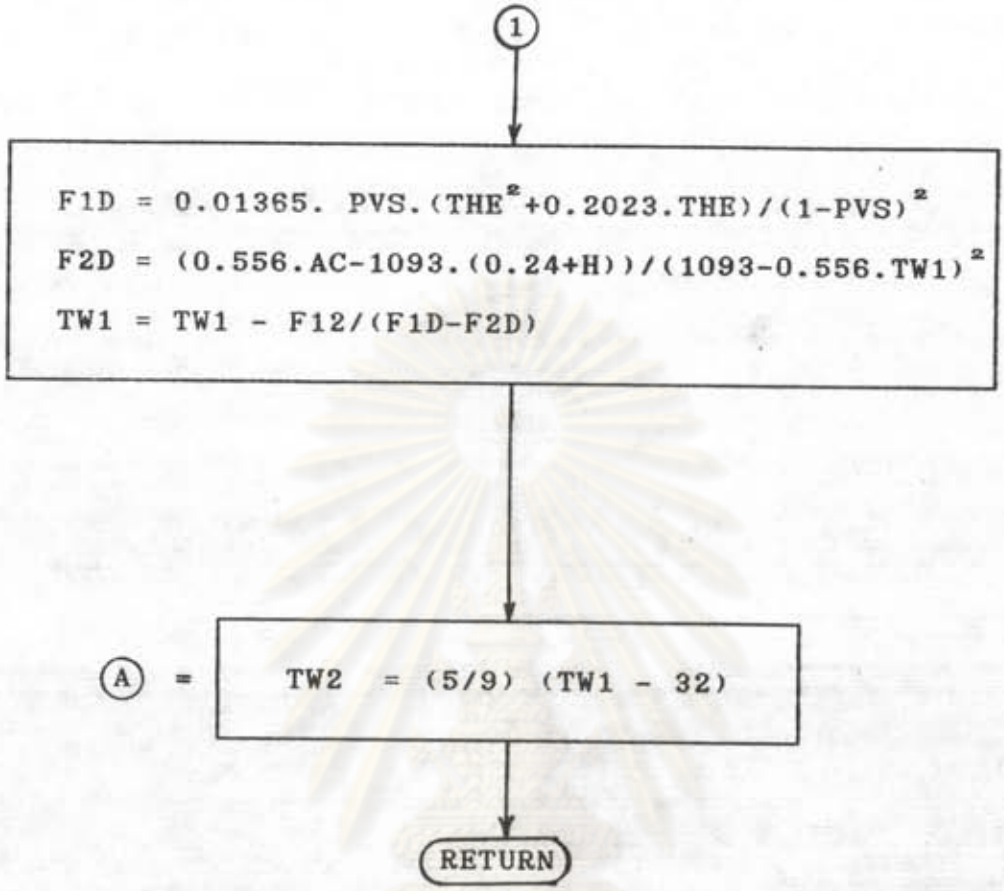
SUB HSAT


START
T_{rs} <= 459.69
Y
N
พิมพ์
"Can not run"
STOP
T_{rs} <= 491.69
Y
N
P_s = exp(23.3924-
11286.6489/T_{rs}
-0.46057.lnT_{rs})
A1 = -27405.5 +54.1896.T_{rs} -0.04513.T_{rs}^2
A2 = 0.215321 x 10^{-4} -0.462027 x 10^{-8}.T_{rs}^4
B = 2.41613.T_{rs} - 0.00121547 .T_{rs}^2
p_s = 3206.18 exp{[(A1 + A2) / B]}
P_T = 14.696
H_s = 0.62198 . [P_s /(P_T - P_s)]
RETURN

SUB WETBLUB



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย