หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ทฤษฎีและแนวความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการลอยแร่

ในทางทฤษฎี แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการลอยแร่กระทำได้หลายวิธีทั้งนี้ขึ้นกับทักษะของผู้วิจัย แบบจำลองที่ใช้กันแพร่หลายส่วนมากมีพื้นฐานจากสมการทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ แต่เพราะว่าขบวนการลอยแร่เป็นปฏิกิริยารวมกันทั้ง 3 เฟส (ของแข็ง, ของเหลว, แก๊ซ) ดังนั้นการประยุกต์สมการพื้นฐานเป็นเรื่องที่ทำได้ยากมาก

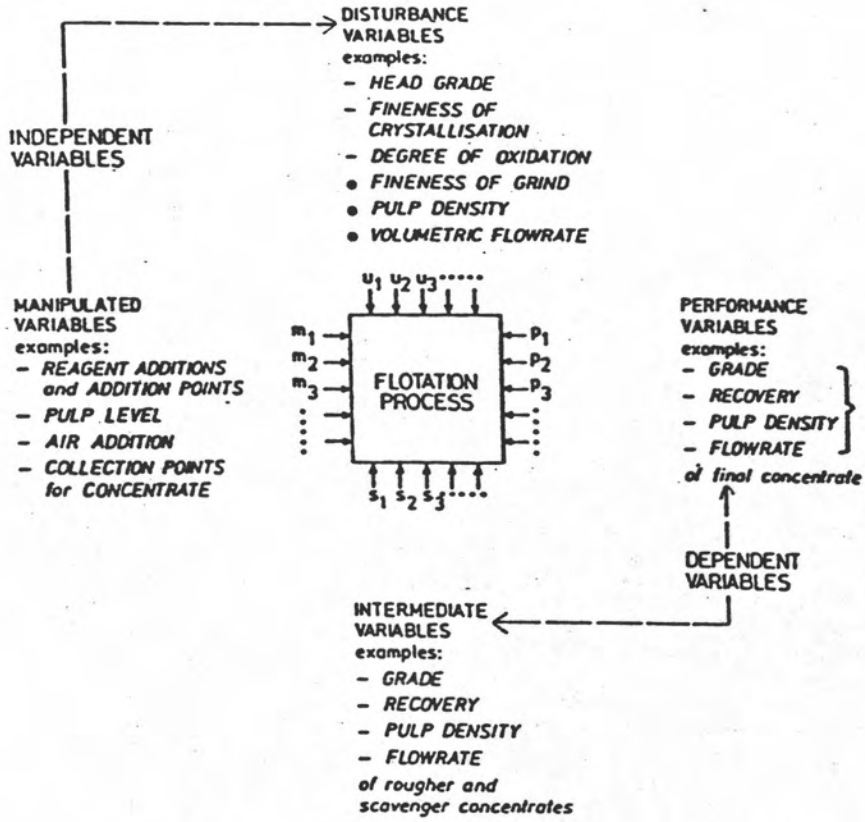
เพื่อความสะดวกแบ่งตัวแปรซึ่งอธิบายในรูป Input, Intermediate Product, Final Product ของขบวนการลอยแร่ดังรูปที่ 4.1 ตัวแปรอิสระ(Independent Variables) ได้แก่ Manipulated Variables และ Disturbance Variables ตัวแปรตาม(Dependent Variables) ได้แก่ ตัวแปรมัธยันตร์(Intermediate Variables) และ ตัวแปรการกระทำ (Performance Variables)

พฤติกรรมทั่วไปของเซลล์ลอยแร่ (Isolated Compartment) ซึ่งแยก ปริมาตรที่เป็นของผสม (Pulp Volumes) และ ปริมาตรที่เป็นฟอง (Froth Volumes) ดังรูปที่ 4.2 ในแบบจำลองการลอยแร่ (Thatcher, 1962) ได้แสดงมวลสมดุลย์ (แร่ป้อน, หัวแร่, หางแร่) สำหรับแต่ละ ส่วนประกอบ (Component) ดังนี้

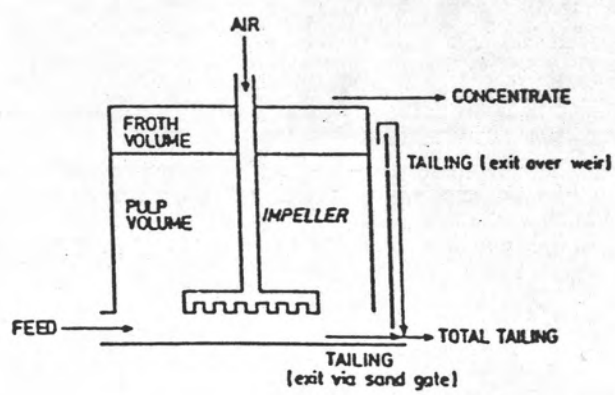
Rate of Accumulation of Component in Compartment = Rate of Input of Component in Feed − Rate of Output of Component in Tailing − Rate of Output of Component in Concentrate (4.1.1)

สมการ 4.1.1 สามารถเขียนใหม่อยู่ในรูปสมการอนุพันธ์ (Differential Equation) สำหรับแต่ละComponent i ซึ่งอัตราการไหลจะอยู่ในรูปมวลน้ำหนักหรือปริมาตรก็ได้

$$dM_i/dt = F_i - T_i - P_i \qquad (4.1.2)$$



รูปที่ 4.1 การจัดแบ่งประเภทของตัวแปรในขบวนการลอยแร่



รูปที่ 4.2 พฤติกรรมทั่วไปในเซลลอยแร่

สมการ 4.1.2 แสดงถึงเซลล์แบบต่อเนื่อง (Continuous Compartment) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป ส่วนการทดสอบในห้องทดลองไม่ว่าจะเป็นแบบเซลล์ไม่ต่อเนื่อง (Semi-Batch) หรือ แบบต่อเนื่องก็สามารถใช้สมการ 4.1.2 ได้เช่นกัน สำหรับเครื่องมือแบบไม่ต่อเนื่อง น้ำเป็น Component ที่ใส่เข้าในเซลล์ลอยแร่ และไม่มีอัตราการไหลของหางแร่ (Tailing) ส่วนหัวแร่จะมีทั้งน้ำและแร่ลอยขึ้นมา สมการ 4.1.3 สามารถเขียนแทน ส่วนประกอบซึ่งเป็นของแข็ง (Solid Component) ส่วนสมการ 4.1.4 สำหรับ น้ำ

$$dM_i/dt = -P_i \qquad (4.1.3)$$

$$dM_w/dt = F_w - P_w \qquad (4.1.4)$$

ในระบบสถานะคงตัว (Steady State) คุณสมบัติทุกจุดในระบบไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งในเซลล์แบบไม่ต่อเนื่อง ไม่สามารถเข้าถึงสภาวะคงตัวได้ แต่เซลล์แบบต่อเนื่องสามารถเข้าถึงสภาวะคงตัวได้ โดยคุณสมบัติของแร่ป้อนและ ตัวแปรที่ปรับแต่งได้ (Manipulated Variables) ในเซลล์ลอยแร่คงที่ ดังนั้นสมการ 4.1.2 เขียนใหม่ได้เป็น สมการ 4.1.5 ซึ่งเป็นพื้นฐานแบบจำลองสถานะคงตัว (Steady State Model)

$$F_i = T_i + P_i \qquad (4.5)$$

จุดประสงค์แบบจำลองลอยแร่คือ การทำนายอัตราการเก็บแร่ (Recovery Rate) ของแต่ละส่วนประกอบ (Component) ของแต่ละเซลล์ลอยแร่ ของชุดเซลล์ลอยแร่ (Banks) หรือของโรงงานทั้งหมด (Plants) ซึ่งวิธีการทำนายแบ่งแบบจำลองออกเป็น 3 แบบคือ แบบจำลองอย่างง่าย (Empirical Models), แบบจำลองความน่าจะเป็น (Probability Models) และ แบบจำลองจลนศาสตร์ (Kinetic Models)

4.1.1 แบบจำลองอย่างง่าย (Empirical Models)

แบบจำลองอย่างง่าย เป็นแบบจำลองที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรตาม (Dependent Variables) ซึ่งวิธีทางสถิติที่นิยมใช้ได้แก่ Normal Multiple Linear Regression Methods หรือ Spline Regression Methods (Mular,1972, Whiten,1971)

การรวบรวมข้อมูลสำหรับ แบบจำลองอย่างง่าย จำเป็นต้องใช้ทั้งวิธีทางตรง (On-Line Methods) และวิธีทางอ้อม (Off-Line Methods) ซึ่งข้อมูล วิธีทางอ้อม ได้จากรายงานประจำกะ, รายงานประจำวันหรือข้อมูลจากบทความซึ่งเป็นผลจากการทดลองในงานเฉพาะเจาะจง ส่วนข้อมูล On-Line Method ได้จากการใช้เครื่องมือวัดค่าต่างๆ ในวงจรการทำงานจริง Empirical Models สำหรับการลอยแร่ได้เสนอไว้โดย Faulkner (1966), Pitt (1968) และ Smithand Lewis (1969) ข้อดีของแบบจำลองนี้คือประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลามากกว่าแบบจำลองอื่นที่จะกล่าวต่อไปคือ แบบจำลองความน่าจะเป็น และ แบบจำลองจลนศาสตร์

4.1.2 แบบจำลองความน่าจะเป็น (Probability Models)

Schumann (1942) เสนอ อัตราการเก็บแร่ ของอนุภาคสัมพันธ์กับ Probability of Success P_x ของขบวนการในเซลลอยแร่ก่อนที่อนุภาคจะลอยออกไปเป็นหัวแร่ ซึ่ง Schumann ได้พัฒนาสมการ 4.1.6 สำหรับอนุภาคซึ่งมีขนาด x

$$P_x = P_c \cdot P_a \cdot F \cdot [x] \cdot V \qquad (4.1.6)$$

ซึ่ง P_c = ความน่าจะเป็นของการชนกันระหว่างอนุภาคและฟองอากาศ

P_a = ความน่าจะเป็นของการเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคและฟองอากาศ

F = ตัวประกอบของฟองที่มีเสถียรภาพ (Froth Stability Factor)

V = ปริมาตรเซลลอยแร่

Tomlinson and Fleming (1965) ได้พัฒนาเพิ่มเติม สมการ 4.1.6 โดย P_e เป็นโอกาสที่เป็นไปได้ที่เม็ดแร่หลุดออกจากฟองอากาศบริเวณส่วนล่างของชั้นฟองในเซลล์ลอยแร่ และ P_f เป็นโอกาสที่เป็นไปได้ในการระบายชั้นฟองออกจากเซลล์ลอยแร่ ดังนี้

$$F = P_e \cdot P_f \qquad (4.1.7)$$

Kelsall (1961) ได้ปรับปรุง แบบจำลองความน่าจะเป็นให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้นดังสมการ 4.1.8 ซึ่งใช้สำหรับเซลล์แบบต่อเนื่อง (Continuous Compartments) และความน่าจะเป็นของการเก็บแร่ (P) ของแต่ละอนุภาคขึ้นกับ P_c, P_a, P_e, P_f ในสมการ 4.1.6 และสมการ 4.1.7

$$\log_{10}(W/W_o) = N \cdot \log_{10}(1-P) \qquad (4.1.8)$$

Kelsall เสนอ W เป็น น้ำหนักของอนุภาคซึ่งเป็นหางแร่ของเซลล์หนึ่งเซลล์ในเซลล์ลอยแร่ต่อเนื่องมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ W_o ซึ่งเป็นน้ำหนักของอนุภาคในแร่ป้อน ดังสมการ 4.1.9

$$W = W_o \cdot (1-P) \qquad (4.1.9)$$

ถ้าหาก ความน่าจะเป็นของการเก็บแร่ (P) คงที่ และ n เป็นจำนวนเซลล์ลอยแร่ในแถวใด ๆ จะได้ความสัมพันธ์สำหรับชุดของเซลล์ลอยแร่ใหม่ดังสมการ 4.1.1Ø

$$W = W_o \cdot (1-P)^n \qquad (4.1.1Ø)$$

Kelsall et al., 1961, 1971, 1974; Davis, 1964 เคยแสดง Probabity ให้อยู่ในรูปแบบง่ายๆ และสามารถอธิบายพฤติกรรมของอนุภาคที่อยู่ในเซลล์ลอยแร่

4.1.3 แบบจำลองจลนศาสตร์ (KINETIC MODELS)

มีพื้นฐานจากปฏิกิริยาเคมีซึ่งเกิดการชนกันของโมเลกุล กลไกสำคัญสำหรับการลอยแร่คือการชนกันระหว่างเม็ดแร่และฟองอากาศในเซลล์ลอยแร่ และกลไกในการที่ฟองอากาศพยุงเม็ดแร่ลอยแยกออกจากเซลล์ลอยแร่ สมการพื้นฐานสำหรับการลอยแร่แบบไม่ต่อเนื่อง (Semi-Batch Flotation) คือ

$$- dC/dt = K \cdot C \qquad (4.1.11)$$

โดยที่ C = ความเข้มข้นของมวลสารต่าง ๆ ในเซลล์ลอยแร่

t = เวลาในการลอยแร่

K = ค่าคงที่อัตราการลอยแร่ซึ่งค่านี้ขึ้นกับเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น ปริมาณน้ำยาและระดับ Pulp ในเซลล์ลอยแร่เป็นต้น,

$-dC/dt$ = อัตราการเก็บแร่ขณะหนึ่ง (Instantaneous Recovery Rate) จากเซลล์ลอยแร่แบบไม่ต่อเนื่อง

ให้ C_o เป็นความเข้มข้นเริ่มแรก เขียนสมการให้อยู่ในรูป Integrated Form ได้

$$C = C_o \cdot \exp(-K.t) \qquad (4.1.12)$$

Kelsall ได้จัดรูปสมการสำหรับชุดของเซลล์ลอยแร่แบบต่อเนื่องในสภาวะคงตัว

$$C = C_o \cdot [1 - K + K^2/2! + K^3/3! + \ldots]^t \qquad (4.1.13)$$

รูปสมการแบบ Integrated Form สำหรับเซลลอยแร่แบบไม่ต่อเนื่อง

$$C = C_o \cdot \int_o^\infty \exp(-K \cdot t) f(K,\emptyset) dk \qquad (4.1.14)$$

ซึ่ง $f(k,\emptyset)$ = อัตราการแจกแจงคงตัวแบบต่อเนื่อง (Continuous Distribution of Rate Constants)

Kelsall (1961) แนะนำให้ประมาณค่า K โดยแบ่งออกเป็น 2 Components คือ แร่ที่มีค่าคงที่อัตราการลอยแร่สูงและต่ำ สมการอัตราการลอยแร่ของเซลลอยแร่แบบไม่ต่อเนื่อง เขียนได้ดังนี้

$$C = C_o \cdot [\phi.\exp(-K_s.t) + (1-\phi).\exp(-K_f .t)] \qquad (4.1.15)$$

โดยที่ K_s และ K_f เป็นค่าคงที่อัตราการลอยแร่ (Rate Constants) และ $\emptyset$ เป็นสัดส่วนของแร่ซึ่งมีค่าคงที่อัตราการลอยแร่ต่ำ (Ks)

สำหรับเซลล์ลอยแร่แบบต่อเนื่อง อัตราการเก็บแร่ที่ลอยได้ขึ้นกับค่าคงที่อัตราการลอยแร่ และเวลาของมวลสารที่อยู่ในเซลล์ลอยแร่ (Retention Time) โดยที่ค่าของเวลาดังกล่าวนี้ขึ้นกับ ระบบการผสม (Mixing) หรือ การไหล (Flow) ของมวลสารในเซลล์ลอยแร่ ในกรณีที่มีมวลสารเดียว เขียนรูปสมการได้เป็น

$$C = C_o \cdot \int_o^\infty \exp(-K .t) E(t) dt \qquad (4.1.16)$$

ในกรณี มีหลายมวลสาร เขียนรูปสมการได้เป็น

$$C = C_o \cdot \int_0^\infty \int_0^\infty \exp(-K.t)E(t)f(K,\emptyset)dtdK \qquad (4.1.17)$$

Danckwerts(1953) แบ่งระบบการผสมของ Pulp ในเซลล์ลอยแร่ออกเป็น 2 ระบบคือ ระบบแรกมีเงื่อนไขว่าอนุภาคทั้งหมดใช้เวลาอยู่ในเซลล์ลอยแร่เท่ากันหมด (Continuous Reactor with Piston Flow or Plug Flow) Residence Time (τ) แสดงได้ดังนี้

$$\tau = V/v \qquad (4.1.18)$$

โดยที่ v = อัตราการไหลของปริมาตรของหางแร่

V = ปริมาตรของ Pulp

ระบบที่สองมีเงื่อนไขว่าอนุภาคทั้งหมดในเซลล์ลอยแร่มีการผสมกันแบบสมบูรณ์ซึ่งทุกส่วนมีคุณสมบัติเหมือนกันหมด (Continuous Reactor with Perfect Mixing) Residence Time E(t) แสดงได้ดังนี้

$$E(t) = 1/\tau \cdot e^{-t/\tau} \qquad (4.1.19)$$

แทนค่า Residence Time E(t) ของ Perfect Mixing สมการ (4.1.19) ลงในสมการ (4.1.16) สำหรับมวลสาร i และ ค่าคงที่อัตราการลอยแร่ Ki ในเซลล์ลอยแร่แบบต่อเนื่อง จะได้อัตราการไหลของมวลสารในหางแร่ดังนี้

$$T_i = F_i \cdot \int_0^\infty e^{-Ki.t} \cdot v/V \cdot e^{-(v/V).t}\, dt \qquad (4.1.2\emptyset)$$

โดย Fi เป็นอัตราการไหลของแร่ป้อน และอาศัยวิธีการ Integrating by Parts ได้

$$T_i = F_i/(1+K_i.V/v) \qquad (4.1.21)$$

ให้ อัตราการไหลของมวลสาร i ในหัวแร่เป็น Pi

$$P_i = F_i - T_i \qquad (4.1.22)$$

แทนค่า Ti จากสมการ (4.1.21) ลงใน สมการ (4.1.22)

$$P_i = F_i - F_i/(1+K_i.V/v) = (F_i.K_i.V/v)/(1+K_i.V/v)$$

และเนื่องจาก $\tau = V/v$ ดังนั้นจะได้

$$P_i = F_i.K_i.\tau/(1+K_i.\tau) \text{ หรือ } R_i = K_i.\tau/(1+K_i.\tau) \qquad (4.1.23)$$

Ri เป็นอัตราการเก็บแร่ของมวลสาร i ของหัวแร่ ซึ่งก็คือค่า Pi/Fi

4.2 การพัฒนาแบบจำลองลอยแร่ฟลูออไรต์

แบบจำลองเกี่ยวกับการลอยแร่ได้พัฒนากันอย่างแพร่หลายสำหรับแบบจำลองอันนี้ แบ่งแร่ออกเป็น 3-4 ชนิด และอาศัยขบวนการมวลสมดุลย์กับความสัมพันธ์ในการลอยแร่เป็นกลไกในการคำนวณ

ความสัมพันธ์ในการลอยแร่ถือว่า อัตราการไหลของหัวแร่ของแต่ละชนิดเป็นฟังกชันของแร่ที่อยู่ในเซลล์ลอยแร่ ความแตกต่างของแบบจำลองขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ที่ใช้และฟังก์ชันในการลอยแร่ โดยมากแบบจำลองมักจะเน้นเฉพาะกลุ่มแร่ที่ลอยได้ (Floating Components) แต่การทำนายที่สมบูรณ์ควรพิจารณาถึง กลุ่มแร่ที่ลอยไม่ได้ และ น้ำ ด้วย

ในการอธิบายความสัมพันธ์ในการลอยแร่เพื่อความสะดวกจะใช้ปริมาตรของชนิดแร่เป็นหลัก

Fi = อัตราการไหลของปริมาตรของชนิดแร่ ที่เป็นแร่ป้อน

Ci = อัตราการไหลของปริมาตรของชนิดแร่ ที่เป็นหัวแร่

Ti = อัตราการไหลของปริมาตรของชนิดแร่ ที่เป็นหางแร่

Xi = ปริมาตรของชนิดแร่ต่างๆ ที่อยู่ในเซลล์ลอยแร่

V = ปริมาตรเซลล์ลอยแร่ = SUMXi

Ki = ค่าคงที่ของอัตราการไหลของแร่ชนิดต่างๆ (RATE CONSTANTS)

ความสัมพันธ์การลอยแร่ของแร่เขียนได้โดย

$$Ci = Fi*(Xj) \qquad (4.2.1)$$

และเขียนในอีกรูปหนึ่งได้

$$Ci = Ki*Xi \qquad (4.2.2)$$

ความสัมพันธ์นี้เป็นความสัมพันธ์ลำดับแรก (1st Order) ซึ่งปริมาณหัวแร่ขึ้นกับปริมาณแร่ที่มีอยู่ในเซลล์และค่าคงที่อัตราการลอยแร่

ในกรณีที่ค่าคงที่อัตราการลอยแร่สูงมาก ซึ่งเป็นกรณีโดยทั่วไปในการลอยในระดับการทำงานจริง ปริมาณหัวแร่ที่ผลิตได้จะถูกจำกัดด้วยอัตราการถ่ายเทมวลสาร ในสภาวะเช่นนี้อยู่ในสถานะที่อิ่มตัวเต็มที่ (Overloading) ซึ่งสมการลำดับแรกและค่าแสดงการอิ่มตัวเต็มที่เขียนได้เป็น

$$Ci = Ki*Xi/(1+BETA*(SUM_{f}Kj*Xj)/V) \qquad (4.2.3)$$

ค่าผลรวม (Summation) คิดเฉพาะแร่ที่ลอยได้ (Floating Components) เท่านั้น หรือเขียนให้อยู่ในอีกรูปหนึ่งได้

$$Ci = Ki*Xi/(1+(SUM_{f}BETAj*Kj*Xj)/V) \qquad (4.2.4)$$

โดยทั่วไปปริมาณน้ำในหัวแร่ในสภาวะปกติมักจะคงที่จึงเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$Cw = Kw*SUM_{f}Cj \qquad (4.2.5)$$

สำหรับแร่ที่ลอยไม่ได้ (Non-Floating Component) บางส่วนเท่านั้นจะขึ้นมาพร้อมกับน้ำส่วนใหญ่จะตกกลับลงสู่ในเซลล์อย่างรวดเร็วอีกครั้ง เขียนอยู่ในรูปสมการ

$$Cg = Kg*Cw*Xg/V \qquad (4.2.6)$$

สมการมวลสมดุลย์สำหรับเซลล์ลอยแร่ในช่วงเวลาสั้นๆ เขียนได้

$$DELTAXi = DELTAt(Fi-Ci-Ti) \qquad (4.2.7)$$

หรือ $dXi/dt = Fi-Ci-Ti$ (4.2.8)

ซึ่งค่า Ti แปรผันโดยตรงกับปริมาณแร่ที่อยู่ในเซลล์

$Ti = ALPHA*Xi$ (4.2.9)

แทนค่าสมการ 4.2.1 & 4.2.9 ลงในสมการ 4.2.8

$dXi/dt = Fi-Fi*(Xj)-ALPHA*Xi$ (4.2.10)

เมื่อ Fi =0, ALPHA=0 ซึ่งเป็นสมการของ Batch Cell เขียนได้เป็น

$dXi/dt = -Fi*(Xi)$ (4.2.11)

สำหรับการจำลองแบบการลอยแร่ในลักษณะต่อเนื่องในสภาวะไดนามิกส์ (Dynamic) สมการ (4.2.10) หาค่า ALPHA ได้

$ALPHA = (SUMFi-SUMfi*(Xj))/V$

สำหรับ การจำลองแบบการลอยแร่ต่อเนื่องในสภาวะคงที่ (Steady State) เทอม dXi/dt ในสมการ (4.2.8) และ (4.2.10) เท่ากับ 0 ซึ่งสมการสามารถหาคำตอบได้โดยการคำนวณซ้ำซาก(Iteration) จะได้สมการคำตอบเป็นรูปทั่วไปซึ่งแปรผันกับค่า Ci ตามอัลการิธึม(Algarithm) ดังนี้

A. เริ่มแรก 0 --> Ci for all i

1. (SUMFi-SUMCi)/V ---> ALPHA

2. (Fi-Ci)/ALPHA -----> Xi for all i

3. Fi*(Xj) ----------> Ci for all i

แล้วทำซ้ำจนกระทั่งค่าที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลง จึงถือว่าได้คำตอบที่ถูกต้อง

สำหรับในกรณี สมการเชิงเส้น (Linear Flotation) (สมการ 4.2.2) รวมทั้งน้ำและส่วนประกอบของแร่ที่ลอยไม่ได้ (สมการ 4.2.6&4.2.7) โดยที่ให้ค่า g = อัตราการไหลของปริมาตรของหัวแร่ จะได้สมการคำตอบเป็นรูปทั่วไปดังนี้

B. เริ่มแรก 0 ---->g

1 (SUMFi-g)/V ----------> ALPHA

2 Fi/(1+ ALPHA/Ki) ----->Ci for Floating

3 Kw*SUM_fCi ------------>Cw for Water

4 Fg/(1+ ALPHA*V/(Kg*Cw))--->Cg for Non Floating

5 SUMCi ----->g

แล้วทำซ้ำจนกระทั่งค่าที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลง

สำหรับในกรณีที่เกิดสภาวะอิ่มตัวเต็มที่ (Over Loading) จะได้ว่า

C. เริ่มแรก 0 --->g, 1 --->h

1. (SUMFi-g)/V ---> ALPHA

2. Fi/(1+h*ALPHA/Ki) --->Ci i for Floating Components

3. 1+ h*BETA*SUM_fCi/V --->h

4. Kw*SUM_fCi ---->Cw

5. Fg/(1+ ALPHA*V/(Kg*Cw)) ----->Cg

6. SUMCi ---->g

แล้วทำซ้ำจนกระทั่งค่าไม่เปลี่ยนมาก

สำหรับแบบจำลองนี้แบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ

a) การคำนวณมวลสมดุลย์ของแร่ชนิดต่าง ๆ ในเซลล์ลอยแร่

1) กำหนดค่าเริ่มแรก g = 0, h = 1

2) คำนวณ ALPHA = (SUM Fi-SUM Ci)/V

3) คำนวณ .Ci = Fi/(1+h*ALPHA/Ki)

4) คำนวณ hnew = 1+h*BETA*SUM$_{\text{ร}}$Ci/V

5) คำนวณ Cw = Kw*SUM$_{\text{ร}}$Ci

6) คำนวณ Cg = Fg/(1+(ALPHA*V/Kg*Cw))

7) คำนวณ g = SUM Ci

8) ทดสอบค่า g และ h จนค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากจึงถือว่าระบบอยู่ในภาวะสมดุลย์หากค่ายังแตกต่างมากก็วนกลับไปคำนวณในขั้นตอน 2 ใหม่ โดยแทนค่า g และ h ดังนี้

g = (h/hnew)*SUM Ci

h = hnew

ถ้า ABS(h-hnew)/h > 1E-6 ถือว่า ระบบในเซลล์ลอยแร่สมดุลย์

b) การคำนวณมวลสมดุลย์ของวงจรเซลล์ลอยแร่

1) กำหนดค่าแร่หมุนเวียนในระบบ (Circulating Load), Ei=0 สำหรับแร่แต่ละชนิด

2) คำนวณหัวแร่จากเซลล์แรก

3) คำนวณหางแร่จากเซลล์แรก

4) หางแร่จากเซลแรกเป็นแร่ป้อนของเซลล์ถัดไป

5) คำนวณหัวแร่จากเซลล์ถัดไปนี้

6) ทดสอบมวลสมดุลย์ของวงจรลอยแร่

ถ้า หัวแร่จากเซลล์ถัดไป (Ci) = Ei แสดงว่าวงจรสมดุลย์

ถ้า หัวแร่จากเซลล์ถัดไป (Ci) <> Ei แสดงว่าวงจรยังไม่สมดุลย์

แทนค่า Ei ด้วย Ci แล้ววนกลับไปคำนวณขั้นตอน 2) ใหม่

4.2.1 การประมาณค่าคงที่อัตราการลอยแร่

จากความสัมพันธ์ลำดับแรก (1st Order) ซึ่งปริมาณหัวแร่ขึ้นกับปริมาณแร่ที่มีอยู่ในเซลล์และค่าคงที่อัตราการลอยแร่

$$Ci = KiXi$$

และจากสมมุติฐานเซลล์ลอยแร่เป็น A Perfect Mixer จะได้ว่าสัดส่วนของแร่ในเซลล์ลอยแร่เท่ากับในหางแร่

$$Xi/V = Ti/SUM\ Ti$$

$$Xi = V*(Ti/SUM\ Ti)$$

ดังนั้นจะได้ว่าค่าคงที่อัตราการลอยแร่ของแร่ที่ลอยได้ (Floating Components)

$$Ki = (Ci*SUM\ Ti)/(Ti*V)$$

โดยที่ Ci = อัตราการไหลของปริมาตรของชนิดแร่ ที่เป็นหัวแร่

Ti = อัตราการไหลของปริมาตรของชนิดแร่ ที่เป็นหางแร่

SUM Ti = อัตราการไหลของปริมาตรรวมของชนิดแร่ ที่เป็นหางแร่ (รวมน้ำด้วย)

V = ปริมาตรเซลล์ลอยแร่

ในกรณีที่ค่าคงที่อัตราการลอยแร่สูงมาก ซึ่งเป็นกรณีโดยทั่วไปในการลอยในระดับการทำงานจริง ปริมาณหัวแร่ที่ผลิตได้จะถูกจำกัดด้วยอัตราการถ่ายเทมวลสาร ในสภาวะเช่นนี้อยู่ในสถานะที่อิ่มตัวเต็มที่ (Over Loading) ค่าคงที่อัตราการลอยแร่หาได้ดังนี้

$h = 1/(1-BETA*SUM_{f}Ci/V)$

$Ki = Ci*h*SUM\ Ti/(Ti*V)$

โดยที่ BETA = ค่าคงที่ที่ได้จากข้อมูลจริงในวงจรลอยแร่ ซึ่งค่าที่เหมาะสม สำหรับแบบจำลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าปริมาตรของเซลล์ลอยแร่

h = การปรับแก้สถานะที่อิ่มตัวเต็มที่ (Overloading Correction)

สำหรับแร่ที่ลอยไม่ได้(Non-Floating Component) ซึ่งเป็นน้ำและแร่มลทิน จะได้ค่าคงที่อัตราการลอยแร่ดังนี้

น้ำ

$Kw = Cw/SUM_{f}Cj$

โดยที่ $SUM_{f}Cj$ = อัตราการไหลของปริมาตรรวมของชนิดแร่ที่ลอยได้ ที่เป็นหัวแร่

Cw = อัตราการไหลของปริมาตรน้ำในหัวแร่

แร่มลทิน

$Kg = (Cg*(1+SUM\ Ti))/(Fg*Cw)$

โดยที่ Cg = อัตราการไหลของปริมาตรของแร่มลทิน ที่อยู่ในหัวแร่

Fg = อัตราการไหลของปริมาตรของแร่มลทิน ที่อยู่ในแร่ป้อน

4.2.2 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมแบบจำลองการลอยแร่ฟลูออไรต์

การเริ่มต้นเขียนโปรแกรม จะต้องรวบรวมทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมที่จะเขียน แล้วนำมาศึกษาให้เข้าใจเพื่อนำสูตรต่าง ๆ ในทางทฤษฎีที่ยุ่งยากในการคำนวณมาเขียนเป็นโปรแกรมสำหรับใช้แทนการคำนวณด้วยมือ

ขั้นตอนต่อมา ก็คือ การเขียนผังงาน (Flow Chart) เพื่อแสดงขั้นตอนการทำงาน โดยแยกเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ตามลำดับการทำงาน อย่างเด่นชัด การเขียนผังงานจะทำให้ผู้เขียนโปรแกรมแน่ใจได้ว่าไม่ได้ข้าม หรือลืมขั้นตอนใดไป

ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการเขียนตัวโปรแกรมตามผังงาน โดยใช้คำสั่งต่าง ๆ แทนสัญญลักษณ์ในผังงาน ซึ่งแบบจำลองในการวิจัยนี้เป็นโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน 77 และภาษาเทอร์โบปาสคาลเวอร์ชั่น 4.0 ลักษณะของโปรแกรมจะเป็นการเขียนแบบโปรแกรมย่อย (Subprogram) เพื่อสะดวกสำหรับการเรียกใช้

4.2.2.1 ผังงาน (Flow Chart) ของโปรแกรมแบบจำลองลอยแร่

การเขียนผังงาน เป็นการเขียนเพื่อแสดงขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ โดยใช้รูปของสัญญลักษณ์แทนความหมายให้เข้าใจ และมองเห็นขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น การเขียนโปรแกรมนี้ จะต้องเข้าใจขั้นตอนการคำนวณ และปัญหาที่จะเกิดขึ้นระหว่างการคำนวณเป็นอย่างดี ก่อนการเขียนโปรแกรมจึงต้องเขียนผังงานเพื่อตรวจดูความถูกต้อง และส่วนที่จะต้องแก้ไขของลำดับขั้นตอนการคำนวณต่าง ๆ ให้ใช้งานได้ถูกต้อง และรวดเร็ว นอกจากนี้การเขียนผังงานจะต้องเขียนให้สามารถทำความเข้าใจขั้นตอนการคำนวณได้ง่าย และสะดวก ไม่ซับซ้อน ในแบบจำลองนี้มี โปรแกรมย่อยดังนี้ RDCOMP, PTCOMP, RDPULP, PTPULP, RDCELL PTCELL, CELL, BANK, CONV, PTBANK, PPBANK, RCBANK, RDASSA, PTASSA, GRAD, PTGRAD และ MTREC ในที่นี้จะแสดงเฉพาะผังงานที่สำคัญ ๆ ทั้งที่เป็น โปรแกรมย่อย (Subprogram)และ โปรแกรมหลัก (Mainprogram) ได้แก่

1. ผังงาน Subprogram CELL
2. ผังงาน Subprogram BANK

3. ผังงาน Subprogram CONV

4. ผังงาน Subprogram RCBANK

5. ผังงาน Subprogram GRAD

6. ผังงาน Subprogram MTREC

7. ผังงาน Mainprogram Part DATA INPUT

8. ผังงาน Mainprogram Part PROCESS SIMULATE

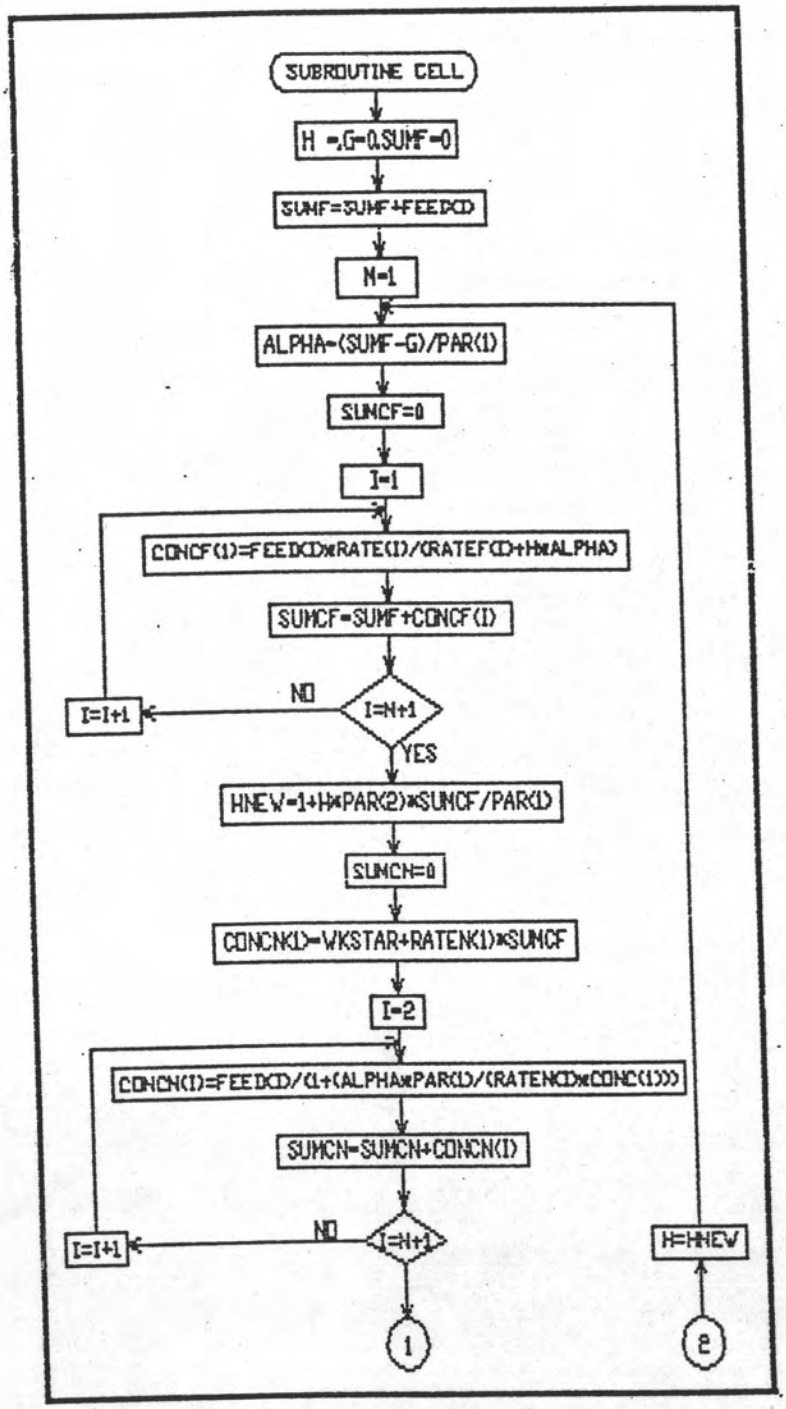
9. ผังงาน Mainprogram Part DATA OUTPUT

ซึ่งลักษณะการทำงานของ โปรแกรมหลัก จะเรียกใช้ โปรแกรมย่อย ต่าง ๆ ได้สะดวกรวดเร็ว โครงสร้างของ Mainprogram จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

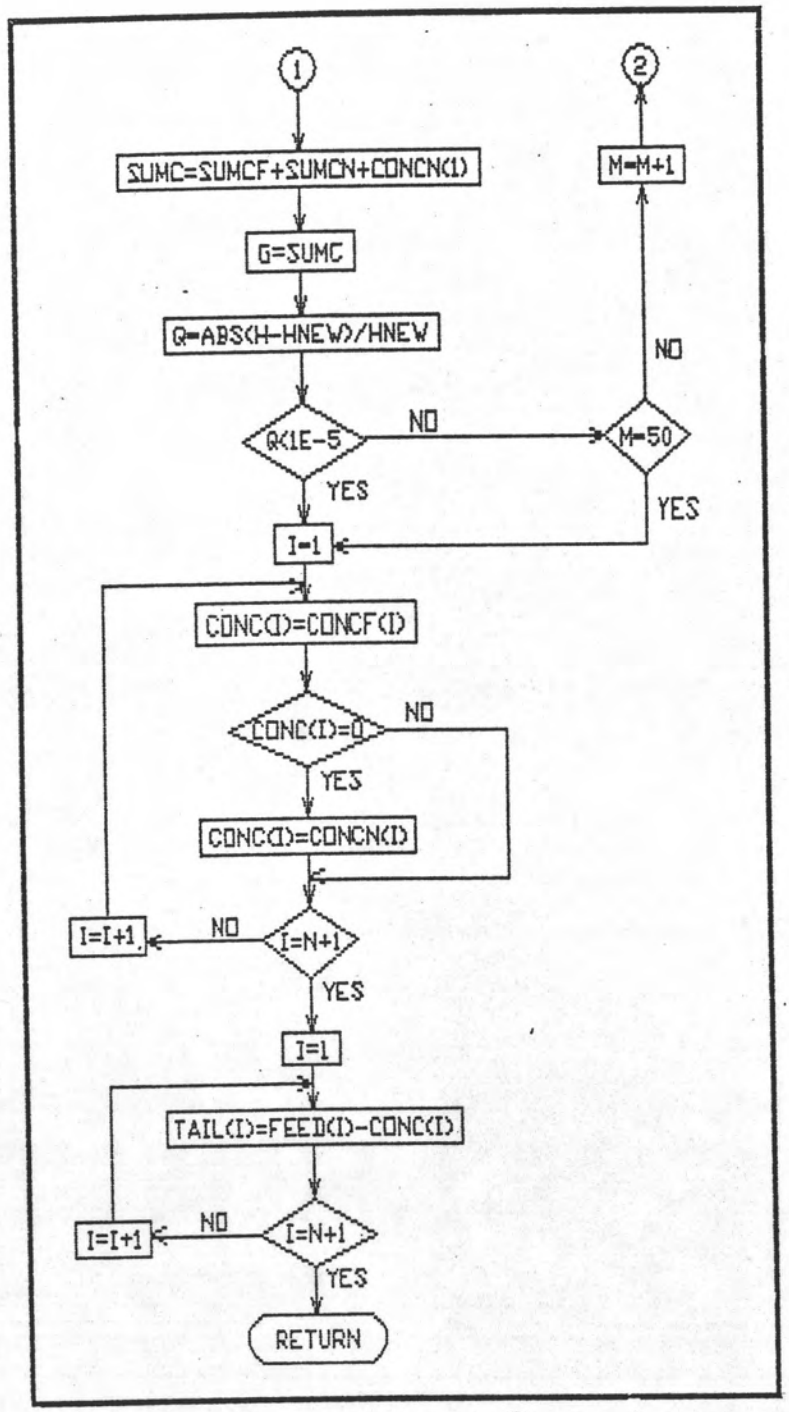
a. ส่วนรับข้อมูล (DATA INPUT) จะทำการอ่านข้อมูลเข้าแบบจำลอง โดยเรียกใช้ โปรแกรมย่อย RDCOMP, RDPULP, RDASSA, RDCELL และ จะแสดงข้อมูลที่รับเข้ามาโดยเรียกใช้ โปรแกรมย่อย PTCOMP, PTPULP, PTASSA และ PTCELL

b. ส่วนการคำนวณ (PROCESS SIMULATE) เป็นการคำนวณซึ่งเลียนแบบวงจรลอยแร่จริง ดังนั้นส่วนการคำนวณนี้จะแตกต่างกันไปตามกรรมวิธีการผลิตของแต่ละโรงงานโดยเรียกใช้ โปรแกรมย่อย CELL, BANK และ CONV

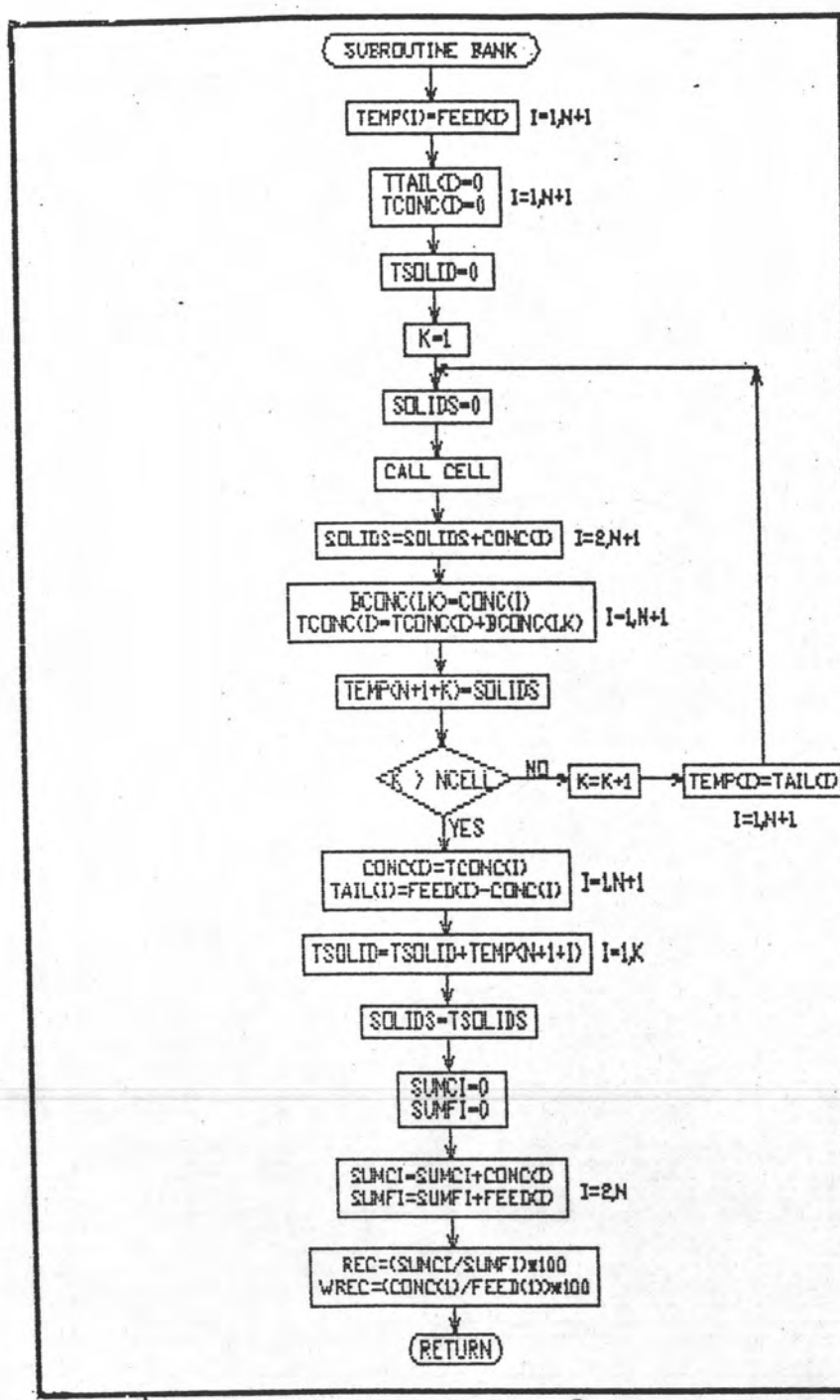
c. ส่วนแสดงผลลัพธ์ (OUTPUT DATA) จะทำการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง โดยเรียกใช้ โปรแกรมย่อย PTBANK, PPBANK, RCBANK, GRAD, PTGRAD และ MTREC



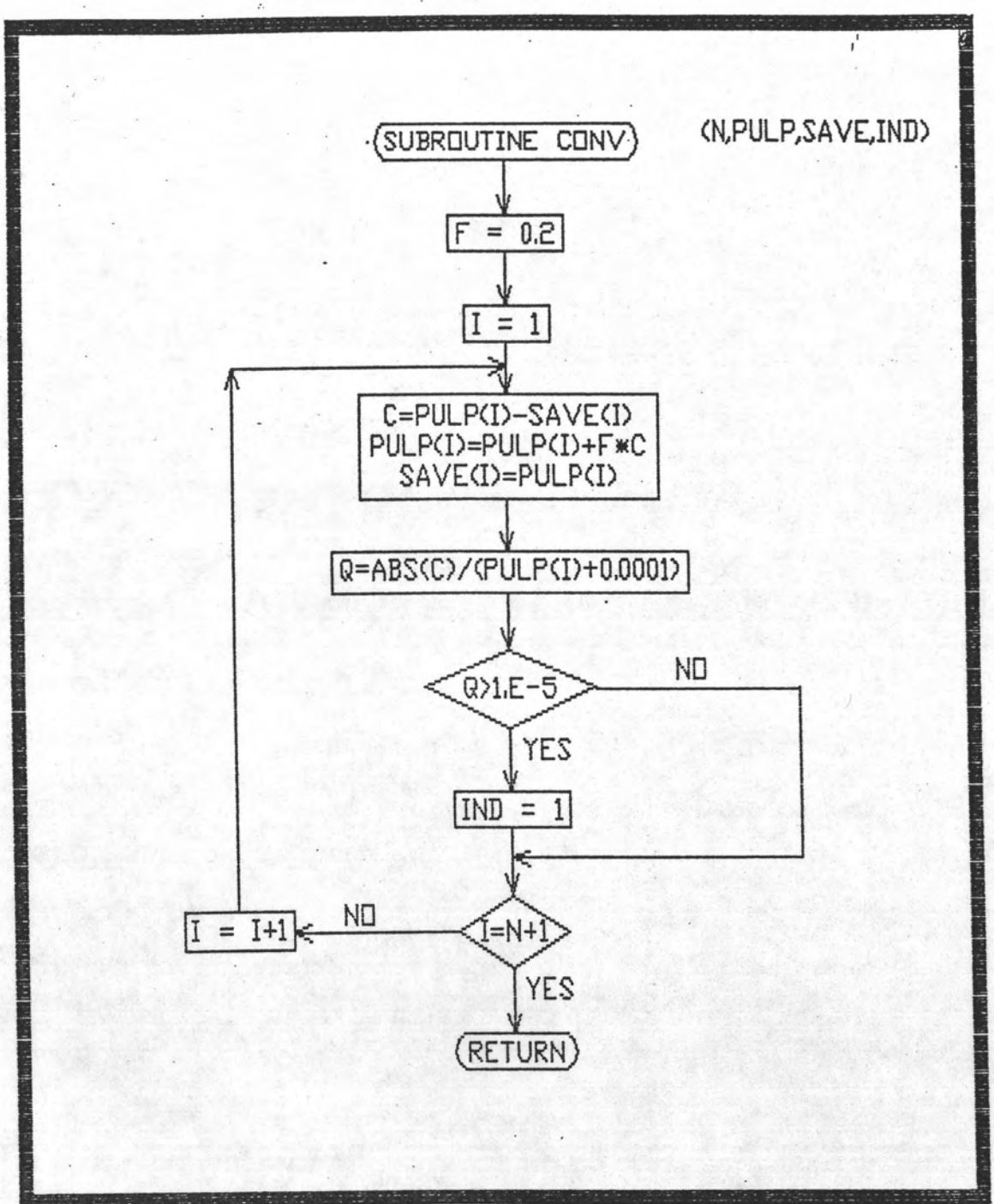
รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย CELL



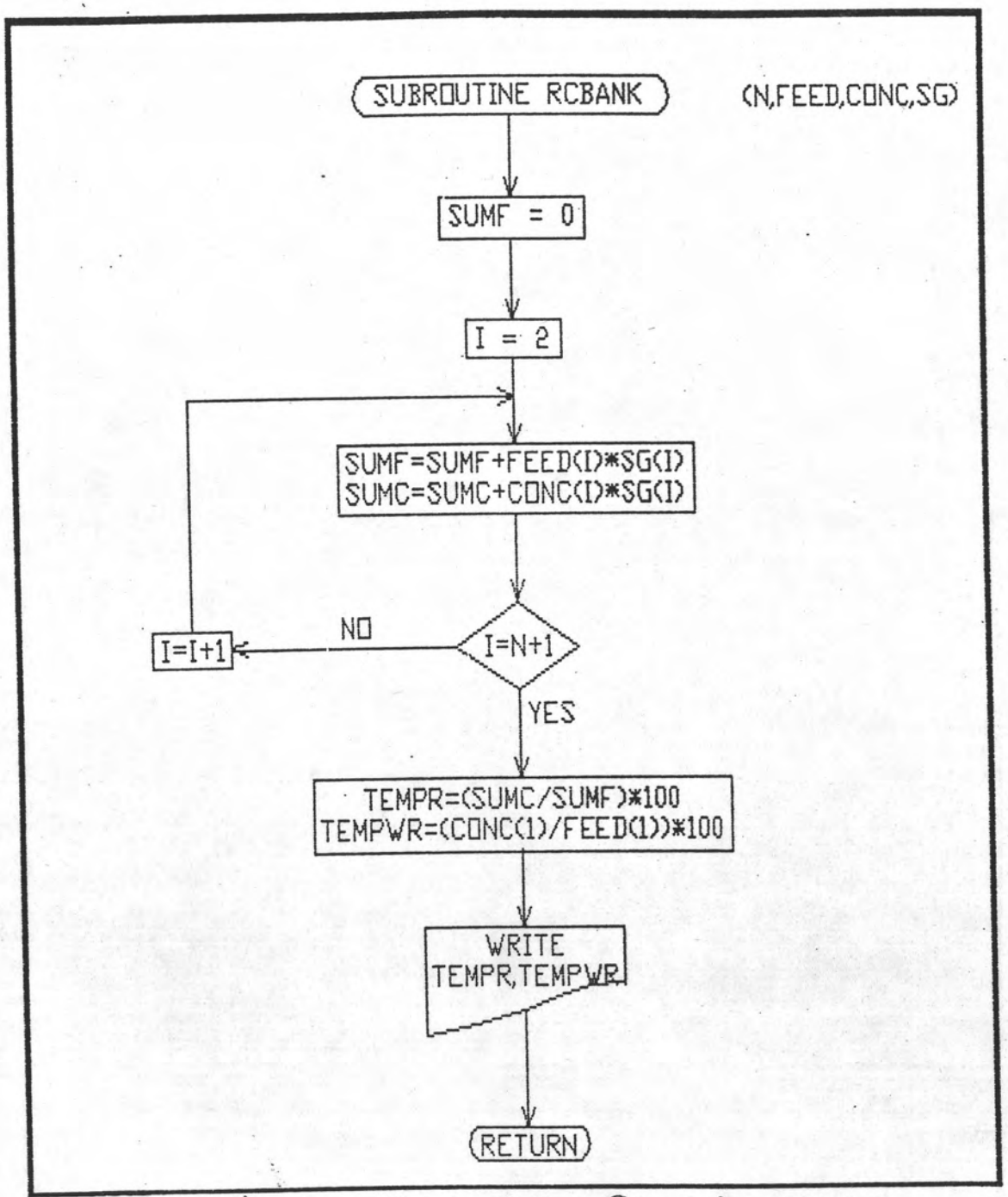
รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย CELL



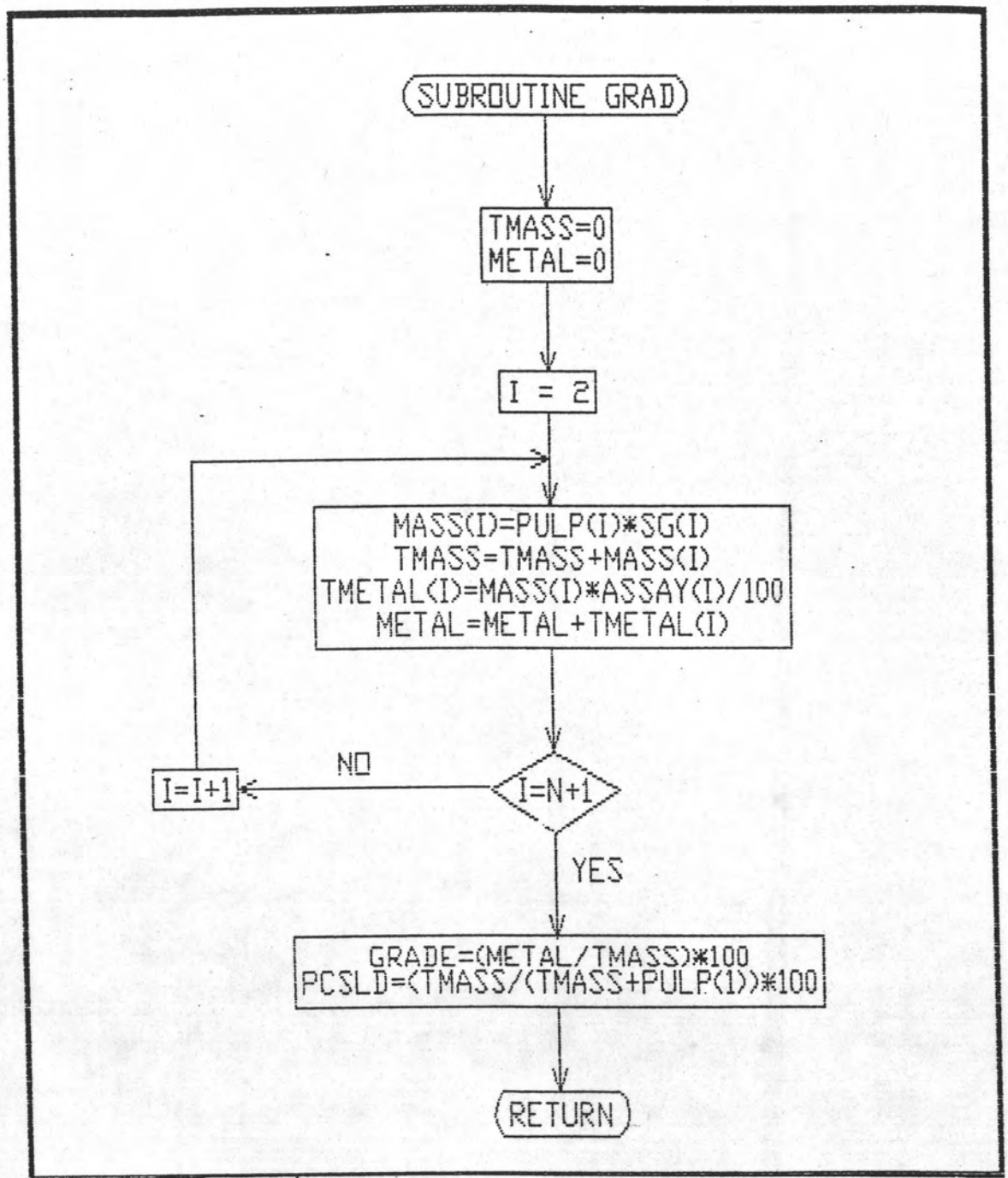
รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย BANK



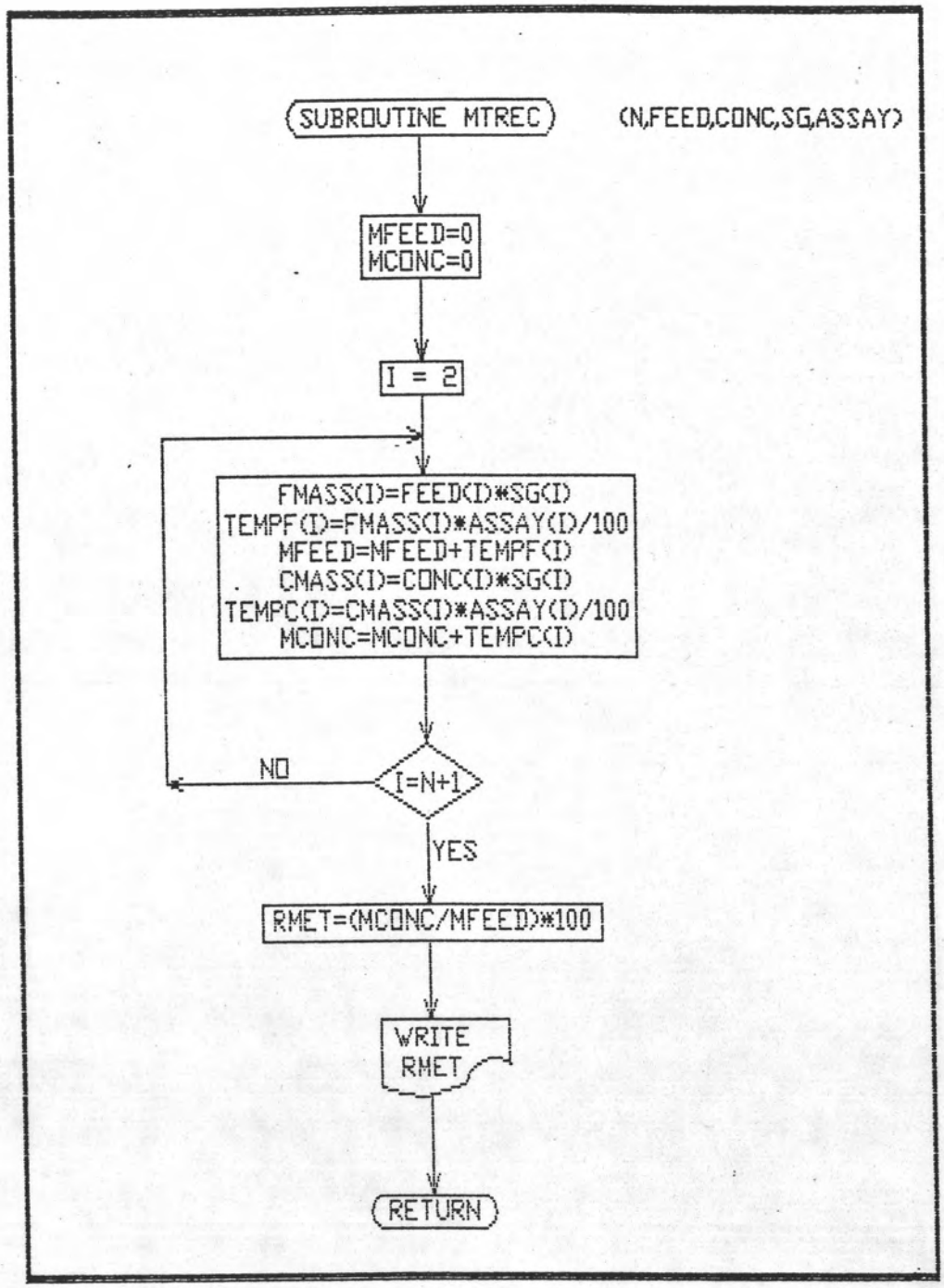
รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย CONV



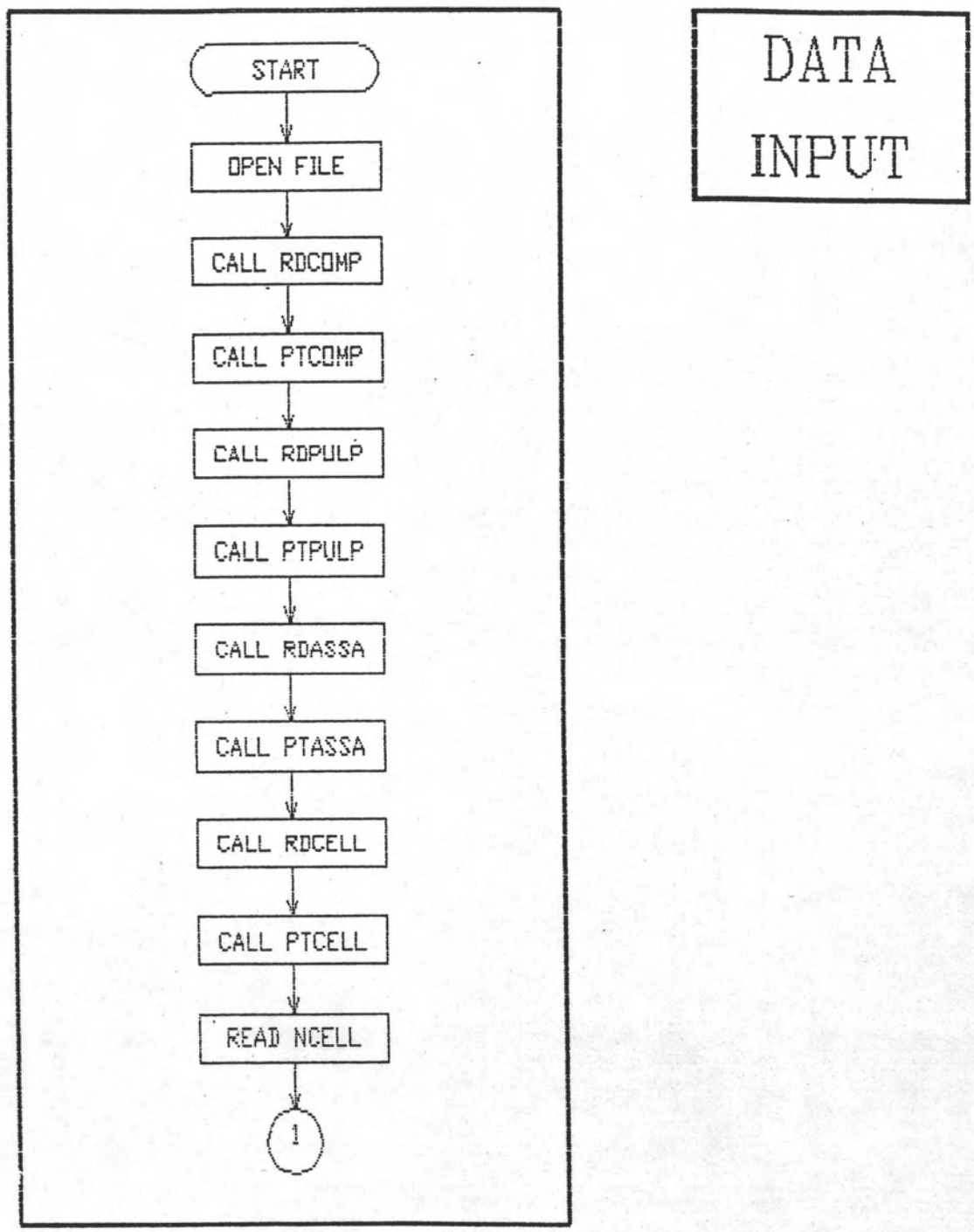
รูปที่ 4.6 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย RCBANK



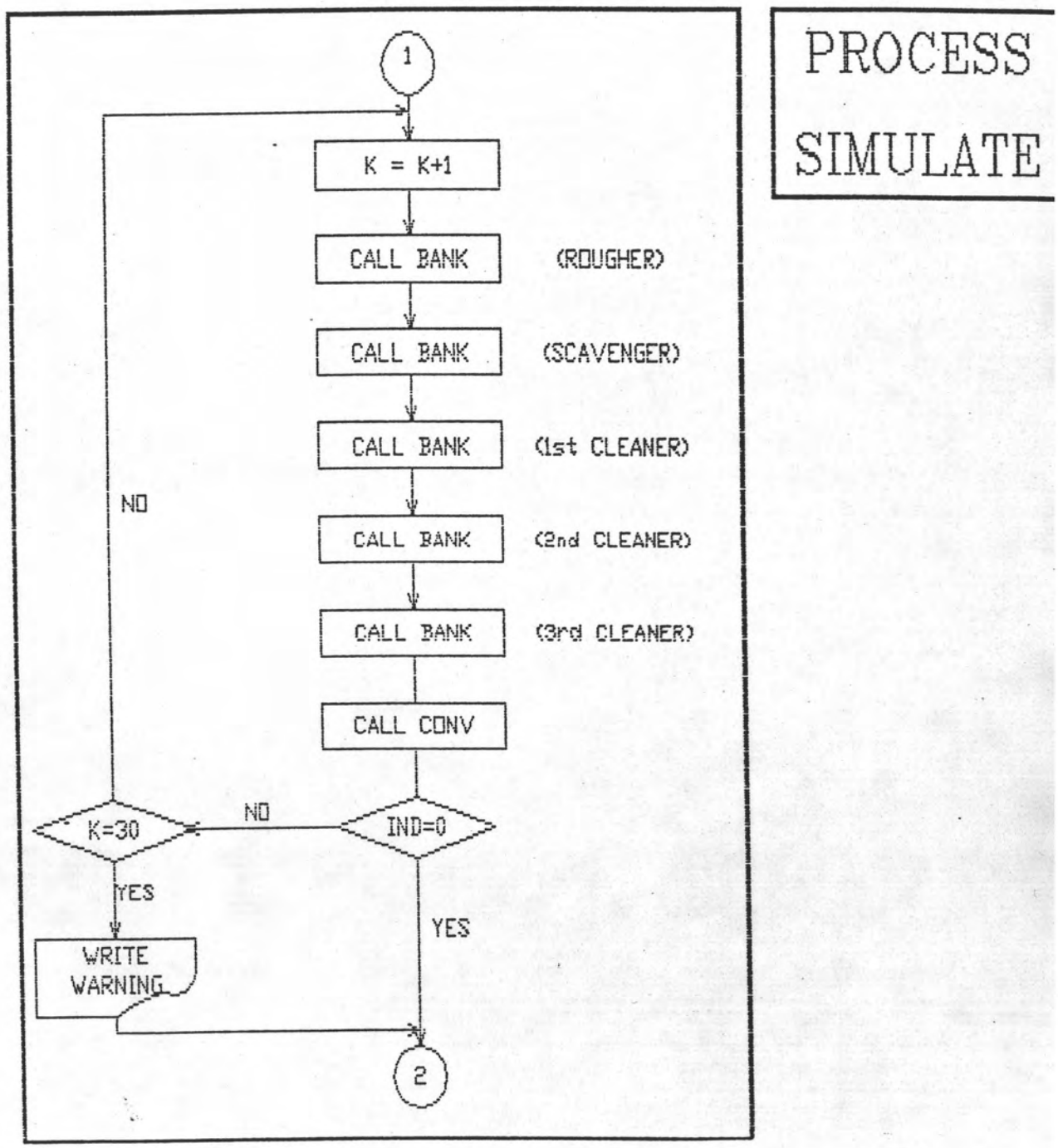
รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย GRAD



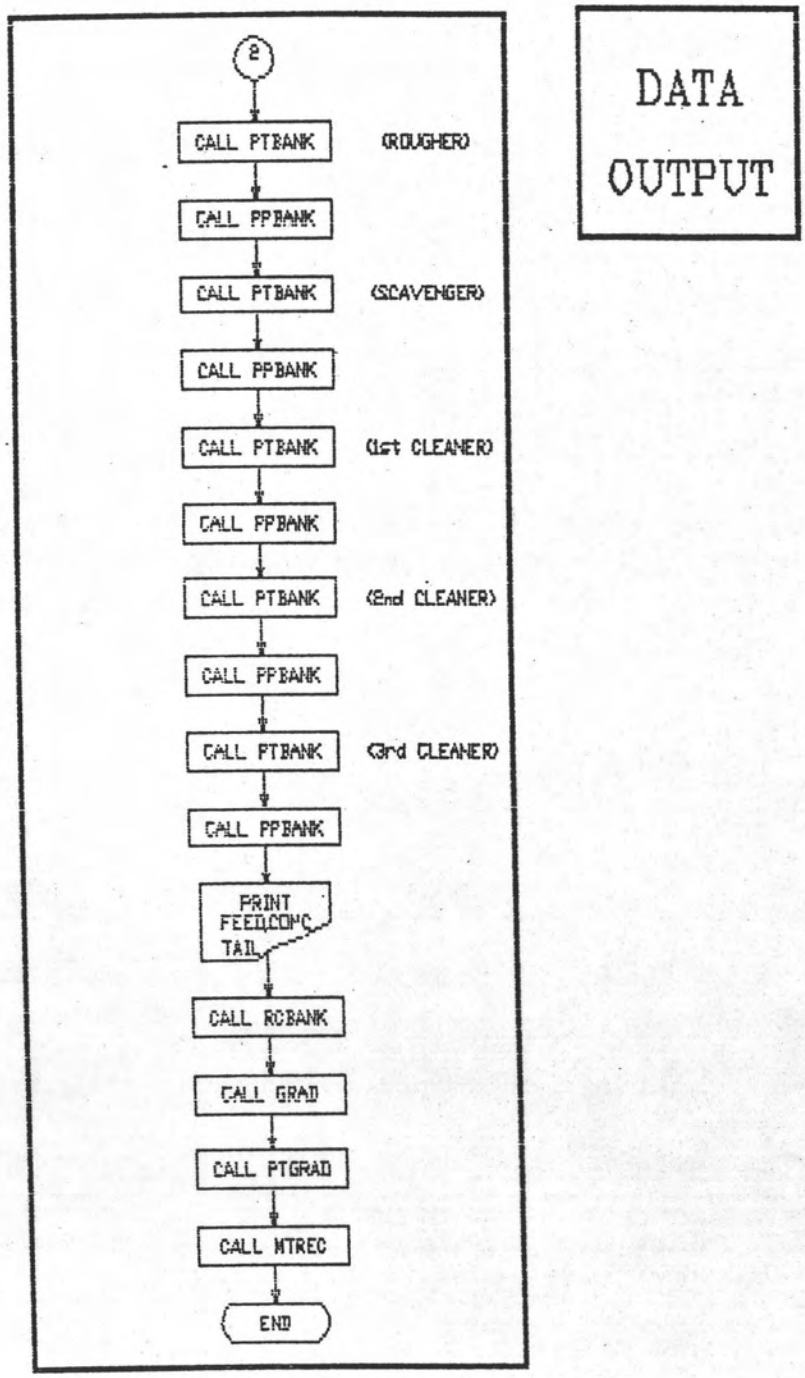
รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย MTREC



รูปที่ 4.9 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลักส่วนรับข้อมูล



รูปที่ 4.10 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลักส่วนคำนวณ



รูปที่ 4.11 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลักส่วนผลลัพธ์

4.2.2.2 การเขียนตัวโปรแกรมแบบจำลองการลอยแร่ฟลูออไรต์

โปรมแกรมที่ใช้ในแบบจำลองวงจรลอยแร่แบ่งออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดแรกเขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน 77 และ ชุดหลังเขียนด้วยภาษาเทอร์โบปาสคาลเวอร์ชั่น 4.0

a) แบบจำลองลอยแร่ซึ่งเขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน 77 ประกอบด้วย โปรแกรมย่อย และ โปรแกรมหลัก ดังนี้

SUBROUTINE RDCOMP	ทำหน้าที่รับข้อมูล จำนวนและชื่อของชนิดแร่ที่ใช้ในแบบจำลอง
SUBROUTINE PTCOMP	ทำหน้าที่พิมพ์ข้อมูล ชื่อของชนิดแร่ที่ใช้ในแบบจำลอง
SUBROUTINE RDPULP	ทำหน้าที่รับข้อมูล ปริมาณและ ถ.พ.ของแร่ป้อน
SUBROUTINE PTPULP	ทำหน้าที่พิมพ์ข้อมูล ปริมาณของแร่ป้อน
SUBROUTINE RDCELL	ทำหน้าที่รับข้อมูล ค่าคงที่และขนาดของเซลล์ลอยแร่รวมทั้งค่าคงที่อัตราการลอยแร่ที่ใช้ในแบบจำลอง
SUBROUTINE PTCELL	ทำหน้าที่พิมพ์ข้อมูล ค่าคงที่และขนาดของเซลล์ลอยแร่รวมทั้งค่าคงที่อัตราการลอยแร่ที่ใช้ในแบบจำลอง
SUBROUTINE RDASSA	ทำหน้าที่รับข้อมูล เปอร์เซ็นต์แร่ที่ใช้ในแบบจำลอง
SUBROUTINE PTASSA	ทำหน้าที่พิมพ์ข้อมูล เปอร์เซ็นต์แร่ที่ใช้ในแบบจำลอง
SUBROUTINE CELL	ทำหน้าที่คำนวณวนซ้ำเลียนแบบการลอยแร่ภายในเซลล์ลอยแร่
SUBROUTINE BANK	ทำหน้าที่คำนวณวนซ้ำเลียนแบบการลอยแร่ในวงจรลอยแร่
SUBROUTINE CONV	ทำหน้าที่เช็ควงจรลอยแร่ให้อยู่ในภาวะสมดุลย์
SUBROUTINE PTBANK	ทำหน้าที่พิมพ์ชื่อชนิดแร่ที่ลอยในแต่ละชุดของเซลล์ลอยแร่
SUBROUTINE PPBANK	ทำหน้าที่พิมพ์อัตราการไหลของแร่แต่ละชุดของเซลล์ลอยแร่
SUBROUTINE RCBANK	ทำหน้าที่คำนวณและพิมพ์ Recovery ของ แร่และน้ำโดยน้ำหนัก
SUBROUTINE PTGRAD	ทำหน้าที่คำนวณและพิมพ์ % Solid และ Grade
SUBROUTINE MTREC	ทำหน้าที่คำนวณและพิมพ์ Recovery
SMAIN.FOR	โปรแกรมหลักซึ่งจำลองวงจรลอยแร่ของเหมืองแร่ตาดดาวจำกัด

KAMIN.FOR Mainprogram ซึ่งจำลองวงจรลอยแร่ของบริษัทกระบี่ฟลูออไรท์

b) แบบจำลองลอยแร่ซึ่งเขียนด้วยภาษาเทอร์โบปาสคาลเวอร์ชั่น 4.0 ประกอบด้วย Subprogram ซึ่งเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล 6 ไฟล์ คือ Editor.Lib, Dos.Lib, Tools.Inc, Simula.Inc, Flotpar.Inc และ File_Ser.Lib ส่วน Mainprogram เก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล Menusim.Pas ดังนี้

แฟ้มข้อมูล Editor.Lib ประกอบด้วยโปรแกรมย่อย ซึ่งช่วยเขียนข้อมูลประเภท Text File ทั่ว ๆ ไป ดังนี้

PROCEDURE DRAWBOX ทำหน้าที่วาดกรอบรูปสี่เหลี่ยมในหน้าจอของ Editor

PROCEDURE WRITESTATUS ทำหน้าที่เขียนข้อความด้านล่างในหน้าจอของ Editor

PROCEDURE CHECKINITBINARY ทำหน้าที่เช็คผลการ Load Program Editor

PROCEDURE CHECKREADFILE ทำหน้าที่เช็คผลการอ่านแฟ้มข้อมูล

PROCEDURE CHECKSAVEFILE ทำหน้าที่เช็คผลการ Save แฟ้มข้อมูล

PROCEDURE WRITEKEYBOARDTOGGLES ทำหน้าที่ควบคุมแป้นพิมพ์

PROCEDURE USEREVENTCHECK ทำหน้าที่เช็คการกดของแป้นพิมพ์

PROCEDURE INITWINDOW ทำหน้าที่ทำกรอบให้สวยงามขึ้น

PROCEDURE INITSTATUSLINE ทำหน้าที่เขียนข้อความด้านล่างในหน้าจอของ Editor

PROCEDURE MODIFYWINDOW ทำหน้าที่ปรับแต่งขนาดของกรอบในหน้าจอของ Editor

PROCEDURE UPDATESCREEN ทำหน้า Update หน้าจอหลังจากปรับแต่งขนาดกรอบแล้ว

PROCEDURE EDIT ทำหน้าเป็นโปรแกรมหลักในการเขียนข้อมูลประเภท Text File

แฟ้มข้อมูล Dos.Lib ประกอบด้วยโปรแกรมย่อย ซึ่งช่วยควบคุม Cursor การแสดงเวลาและวันที่ รวมทั้งควบคุมการแสดงทางจอภาพ ดังนี้

PROCEDURE GET_DIR ทำหน้าที่เรียกแฟ้มข้อมูลในแผ่น Disk ออกมาดูในหน้าจอ

PROCEDURE SET_SCREEN	ทำหน้าที่ควบคุมจอภาพ
PROCEDURE CURSOR_OFF	ทำหน้าที่ไม่ให้ Cursor แสดงบนจอภาพ
PROCEDURE CURSOROFF	ทำหน้าที่ไม่ให้ Cursor แสดงบนจอภาพ
PROCEDURE CURSORBIG	ทำหน้าที่ให้ขนาด Cursor โตกว่าปกติ
PROCEDURE CURSORON	ทำหน้าที่ให้ Cursor แสดงบนจอภาพ
PROCEDURE DOSVER	ทำหน้าที่แสดงรุ่นของ DOS
PROCEDURE GET_DATE	ทำหน้าที่แสดงวันที่ลงบนจอภาพ
PROCEDURE GET_TIME	ทำหน้าที่แสดงเวลาลงบนจอภาพ
PROCEDURE BORDER1	ทำหน้าที่แสดงกรอบเส้นเดี่ยวหน้าจอ
PROCEDURE BORDER2	ทำหน้าที่แสดงกรอบเส้นคู่หน้าจอ
PROCEDURE BORDER_SOLID	ทำหน้าที่แสดงกรอบหน้าจอซึ่งพื้นในกรอบสว่าง ตัวหนังสือมืด
PROCEDURE REVERSE	ทำหน้าที่แสดงตัวหนังสือมืด พื้นจอสว่าง
PROCEDURE NORMAL	ทำหน้าที่แสดงตัวหนังสือสว่าง พื้นจอมืด

แฟ้มข้อมูล Tools.Inc ประกอบด้วยโปรแกรมย่อยดังนี้

PROCEDURE PLAY	ทำหน้าที่แสดงเสียงตามความถี่ที่ต้องการ
PROCEDURE SCREENATTR	ทำหน้าที่แสดงตัวอักษรมืดพื้นจอสว่างและเลือกความเข้มได้
FUNCTION UPCASESTR	ทำหน้าที่ตัวอักษรข้อความให้เป็นตัวใหญ่
PROCEDURE WRITESTR1	ทำหน้าที่เขียนข้อความโดยจัดตำแหน่งและเลือกความเข้มได้
PROCEDURE WRITESTR	ทำหน้าที่เขียนข้อความโดยเลือกตำแหน่งได้
PROCEDURE WRITECENTR	ทำหน้าที่เขียนข้อความโดยจัดตำแหน่งกึ่งกลางให้
FUNCTION YES	ทำหน้าที่เช็คโปรแกรมให้ผู้ใช้เลือกตอบใช่หรือไม่
PROCEDURE DRAWHLINE	ทำหน้าที่ลากเส้นแนวนอน โดยเลือกลักษณะของเส้นได้
PROCEDURE DRAWCONNER	ทำหน้าที่วาดมุมของรูปสี่เหลี่ยม โดยเลือกลักษณะของเส้นได้
PROCEDURE DRAWVLINE	ทำหน้าที่ลากเส้นแนวดิ่ง โดยเลือกลักษณะของเส้นได้

PROCEDURE DRAWBOX1	ทำหน้าที่วาดรูปสี่เหลี่ยมโดยเลือกลักษณะของเส้นได้
FUNCTION YESORNO	ทำหน้าที่เช็คโปรแกรมให้ผู้ใช้เลือกตอบใช่หรือไม่
PROCEDURE DRAWBOX11	ทำหน้าที่วาดรูปสี่เหลี่ยมโดยเลือกลักษณะของเส้นได้

แฟ้มข้อมูล Simula.Inc ประกอบด้วยโปรแกรมย่อย ซึ่งรับข้อมูลและพิมพ์ข้อมูลจะสื่อสารทางจอภาพ ดังนี้

PROCEDURE RDCOMP	ทำหน้าที่รับข้อมูล จำนวนและชื่อของชนิดแร่ที่ใช้ในแบบจำลอง
PROCEDURE PTCOMP	ทำหน้าที่พิมพ์ข้อมูล ชื่อของชนิดแร่ที่ใช้ในแบบจำลอง
PROCEDURE RDPULP	ทำหน้าที่รับข้อมูล ปริมาณและ ถ.พ.ของแร่ป้อน
PROCEDURE PTPULP	ทำหน้าที่พิมพ์ข้อมูล ปริมาณของแร่ป้อน
PROCEDURE RDCELL	ทำหน้าที่รับข้อมูล ค่าคงที่และขนาดของเซลลอยแร่รวมทั้งค่าคงที่อัตราการลอยแร่ที่ใช้ในแบบจำลอง
PROCEDURE PTCELL	ทำหน้าที่พิมพ์ข้อมูล ค่าคงที่และขนาดของเซลลอยแร่รวมทั้งค่าคงที่อัตราการลอยแร่ที่ใช้ในแบบจำลอง
PROCEDURE RDASSA	ทำหน้าที่รับข้อมูล เปอร์เซ็นต์แร่ที่ใช้ในแบบจำลอง
PROCEDURE PTASSA	ทำหน้าที่พิมพ์ข้อมูล เปอร์เซ็นต์แร่ที่ใช้ในแบบจำลอง
PROCEDURE RDCELLNO	ทำหน้าที่รับข้อมูล จำนวนแถวและเซลลอยแร่
PROCEDURE CELL	ทำหน้าที่คำนวณวนซ้ำเลียนแบบการลอยแร่ภายในเซลลอยแร่
PROCEDURE BANK	ทำหน้าที่คำนวณวนซ้ำเลียนแบบการลอยแร่ในวงจรลอยแร่
PROCEDURE CONV	ทำหน้าที่เช็ควงจรลอยแร่ให้อยู่ในภาวะสมดุลย์
PROCEDURE PTBANK	ทำหน้าที่พิมพ์ชื่อชนิดแร่ที่ลอยในแต่ละชุดของเซลลอยแร่
PROCEDURE PPBANK	ทำหน้าที่พิมพ์อัตราการไหลของแร่แต่ละชุดของเซลลอยแร่
PROCEDURE RCBANK	ทำหน้าที่คำนวณและพิมพ์ Recovery ของ แร่และน้ำโดยน้ำหนัก
PROCEDURE PTGRAD	ทำหน้าที่คำนวณและพิมพ์ % Solid และ Grade
PROCEDURE MTREC	ทำหน้าที่คำนวณและพิมพ์ Recovery

แฟ้มข้อมูล Flotpar.Inc ประกอบด้วยโปรแกรมย่อย ซึ่งทำหน้าที่คำนวณหาค่าคงที่อัตราการลอยแร่ดังนี้

PROCEDURE KGET_DATA	ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากแฟ้มข้อมูล Ink.Dat
PROCEDURE KDISPLAY	ทำหน้าที่แสดงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูล Ink.Dat ออกจอภาพ
PROCEDURE KCALC	ทำหน้าที่คำนวณค่าคงที่อัตราการลอยแร่
PROCEDURE KOUT_DATA	ทำหน้าที่แสดงผลลัพธ์ออกจอภาพ
PROCEDURE KOUT_DATAFILE	ทำหน้าที่บันทึกผลลัพธ์ลงในแฟ้มข้อมูล Outk.Dat
PROCEDURE KOUT_DATAFILEP	ทำหน้าที่แสดงผลลัพธ์ออกเครื่องพิมพ์
PROCEDURE FLOTPAR	ทำหน้าที่เป็นโปรแกรมหลักคำนวณหาค่าคงที่อัตราการลอยแร่

แฟ้มข้อมูล File_Ser.Lib ประกอบด้วยโปรแกรมย่อย ทำหน้าที่สื่อสารข้อมูลโดยใช้ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก ดังนี้

PROCEDURE PLINE	ทำหน้าที่ขีดเส้นใต้ยาว 79 ตัวอักษร
PROCEDURE PLINE1	ทำหน้าที่ขีดเส้นใต้ยาว 50 ตัวอักษร
PROCEDURE PLINE_P	ทำหน้าที่ขีดเส้นใต้ยาว 80 ตัวอักษรออกเครื่องพิมพ์
PROCEDURE WAIT	ทำหน้าที่รับแป้นพิมพ์ใด ๆ 1 ค่า
PROCEDURE WAIT2	ทำหน้าที่รับแป้นพิมพ์ใด ๆ 1 ค่า
PROCEDURE UPPERCASE	ทำหน้าที่เปลี่ยนตัวอักษรตัวเล็กในข้อความให้เป็นตัวใหญ่
PROCEDURE UPCASESTRDIR	ทำหน้าที่เปลี่ยนตัวอักษรตัวเล็กของ Directory ให้เป็นตัวใหญ่
PROCEDURE DIRECTORY	ทำหน้าที่แสดงชื่อไฟล์ออกจอภาพ
PROCEDURE MAIN_MENU	ทำหน้าที่แสดงเมนูหลักของการทำงานโปรแกรมระบบไฟล์
PROCEDURE FILE_NAME	ทำหน้าที่เช็คชื่อของไฟล์
PROCEDURE ERROR	ทำหน้าที่บอกข้อความว่าหาชื่อไฟล์ไม่เจอ
PROCEDURE RDCOMPF	ทำหน้าที่รับข้อมูล จำนวนและชื่อของชนิดแร่ที่ใช้ในแบบจำลอง
PROCEDURE PTCOMPF	ทำหน้าที่พิมพ์ข้อมูล ชื่อของชนิดแร่ที่ใช้ในแบบจำลอง

PROCEDURE RDPULPF ทำหน้าที่รับข้อมูล ปริมาณและ ถ.พ. ของแร่ป้อน

PROCEDURE PTPULPF ทำหน้าที่พิมพ์ข้อมูล ปริมาณของแร่ป้อน

PROCEDURE RDCELLF ทำหน้าที่รับข้อมูล ค่าคงที่และขนาดของเซลลอยแร่รวมทั้งค่าคงที่อัตราการลอยแร่ที่ใช้ในแบบจำลอง

PROCEDURE PTCELLF ทำหน้าที่พิมพ์ข้อมูล ค่าคงที่และขนาดของเซลลอยแร่รวมทั้งค่าคงที่อัตราการลอยแร่ที่ใช้ในแบบจำลอง

PROCEDURE RDASSAF ทำหน้าที่รับข้อมูล เปอร์เซ็นต์แร่ที่ใช้ในแบบจำลอง

PROCEDURE PTASSAF ทำหน้าที่พิมพ์ข้อมูล เปอร์เซ็นต์แร่ที่ใช้ในแบบจำลอง

PROCEDURE RDCELLNOF ทำหน้าที่รับข้อมูล จำนวนแถวและเซลลอยแร่

PROCEDURE PTBANKF ทำหน้าที่พิมพ์ชื่อชนิดแร่ที่ลอยในแต่ละชุดของเซลลอยแร่

PROCEDURE PPBANKF ทำหน้าที่พิมพ์อัตราการไหลของแร่แต่ละชุดของเซลลอยแร่

PROCEDURE RCBANKF ทำหน้าที่คำนวณและพิมพ์ Recovery ของ แร่และน้ำโดยน้ำหนัก

PROCEDURE PTGRADF ทำหน้าที่คำนวณและพิมพ์ % Solid และ Grade

PROCEDURE MTRECF ทำหน้าที่คำนวณและพิมพ์ Recovery

PROCEDURE IN_FILE ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากแฟ้มข้อมูล Input.Dat

PROCEDURE RWIN_FILE ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากแฟ้มข้อมูล Input.Dat

PROCEDURE WIN_FILE ทำหน้าที่แสดงข้อมูลที่ป้อนเข้าแบบจำลองออกทางจอภาพ

PROCEDURE IN_DIRECT ทำหน้าที่รับข้อมูลทางจอภาพ

PROCEDURE READ_DATAFILE ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากแฟ้มข้อมูล Input.Dat

PROCEDURE OUTS_DIRECT ทำหน้าที่แสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองออกทางจอภาพ

PROCEDURE OUT_FILE ทำหน้าที่แสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล Out.Dat

4.2.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมที่ใช้ในแบบจำลองวงจรลอยแร่แบ่งออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดแรกเขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน 77 และ ชุดหลังเขียนด้วยภาษาเทอร์โบปาสคาลเวอร์ชั่น 4.0

4.2.3.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแบบจำลองลอยแร่ซึ่งเขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน 77

แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ขั้นตอนหาค่าคงที่อัตราการลอยแร่และขั้นตอนคำนวณการเลียนแบบวงจรลอยแร่ ดังนี้

a) ขั้นตอนหาค่าคงที่อัตราการลอยแร่ เป็นขั้นตอนแรกที่ต้องทำโดยหาข้อมูลจริงจากกรรมวิธีการผลิตของวงจรลอยแร่ที่จะทำการจำลอง ซึ่งข้อมูลได้แก่ อัตราแร่ป้อน, อัตราหัวแร่ที่ลอยได้ของแต่ละเซลและจำนวนเซลลอยแร่ของแต่ละแถว ซึ่งข้อมูลจะเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล Kin.Dat จากนั้นโปรแกรม Flotpar.For จะทำการอ่านข้อมูลและคำนวณหาค่าคงที่อัตราการลอยแร่ของแร่แต่ละชนิด แล้วเก็บผลลัพธ์บันทึกไว้ในแฟ้มข้อมูล Kout.Dat ตัวอย่างข้อมูลในแฟ้มข้อมูล Kin.Dat (รายละเอียดดูจากภาคผนวก (ซ))

```
'ROUGHER BANK'
3,4,1,1
'WATER' 'FFAST' 'FSLOW' 'GANGUE'
6.005,0.470,0.045,0.443
1.063,0.330,0.024,.072
0.367,0.109,0.013,.026
0.089,0.025,0.005,.006
0.020,0.005,0.002,.001
```

b) ขั้นตอนคำนวณการเลียนแบบวงจรลอยแร่ เริ่มด้วยโปรแกรมหลัก Smain.For หรือ Kmain.For เรียกใช้โปรแกรมย่อย SUBROUTINE RDCOMP, RDPULP, RDCELL และ RDASSA ทำการอ่านข้อมูลจากแฟ้มข้อมูล Fsim1.Dat ดังนี้ (รายละเอียดดูจากภาคผนวก (ฌ))

```
3 ------------------------------> N
'FFAST'  'FSLOW'  'GANGUE'------> (COMP(I),I=2,N+1)
2.5 ----------------------------> SOLIDS
3.2,2.8,2.45 -------------------> (SG(I),I=2,N+1)
6.,50.0,12.5,37.5 --------------> (FEED(I),I=1,N+1)
'%Caf2'------------------------> MTCOMP
100.0,80.0,0.0 -----------------> (ASSAY(I) I=2,N+1)
.2,.2 --------------------------> PAR(1), PAR(2)
0.,20.,2.,0. -------------------> (RATEF(I),I=1,N+1)
3.,0.,0.,0.1 -------------------> (RATEN(I),I=1,N+1)
4,4,2,1,1 ----------------------> NCELL1,NCELL2,NCELL3,NCELL4,NCELL5
```

และจะทำการคำนวณเลียนแบบวงจรลอยแร่จริง ซึ่งส่วนนี้จะแตกต่างกันไปตามกรรมวิธีการผลิตของแต่ละโรงงาน โดยเรียกใช้ Subroutine CELL, BANK และ CONV จากนั้นจะทำการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองโดยเรียกใช้ Subroutine PTBANK, PPBANK, RCBANK, GRAD, PTGRAD และ MTREC เก็บผลลัพธ์ไว้ในแฟ้มข้อมูล Out.Dat

โปรแกรมการจำลองแบบลอยแร่ซึ่งเขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน 77 นี้ ไม่มีการป้อนข้อมูลถามตอบทางจอภาพและแป้นพิมพ์ เนื่องจากฟังชั่นต่าง ๆ ซึ่งจัดการเกี่ยวกับหน้าจอภาพของภาษาฟอร์แทรน 77 ยังไม่สะดวกเพียงพอ การป้อนข้อมูลทางแฟ้มข้อมูลสามารถใช้โปรแกรม Editor ทั่วไปเช่น Wordstar หรือ Sidekick เขียนก็ได้ ส่วนถ้าจะดูผลลัพธ์ในแฟ้มข้อมูล Out.Dat

ทางหน้าจอภาพก็ใช้คำสั่งใน MSDOS คือ Type Out.Dat และถ้าจะพิมพ์ผลลัพธ์ในแฟ้มข้อมูล Out.Dat ออกทางเครื่องพิมพ์ ก็กด Ctrl P แล้ว ใช้คำสั่ง Type Out.Dat

4.2.3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแบบจำลองลอยแร่ซึ่งเขียนด้วยเทอร์โบปาสคาล 4.0

เริ่มด้วยโปรแกรมหลัก Menusim.Pas แสดงเมนูให้ผู้ใช้เลือกทั้งหมด 14 รายการดังนี้

A. Run Program by File
B. Run Program by Interactive
C. Display Output
D. Print Output
E. Create/ Edit K Data File
F. Create/ Edit Other Data File
G. Create/ Edit Input Data File
H. Compute
I. Display Input File
J. Display Output File
K. Print Output
L. Information
S. File Service
X. Exit to Operating System

ถ้าเลือก A หมายถึงการคำนวณแบบจำลองลอยแร่โดยป้อนข้อมูลจากแฟ้มข้อมูล Input.Dat ซึ่งเรียกใช้ Procedure In_file จากแฟ้มข้อมูล File_Ser.Lib, Procedure Compute จากแฟ้มข้อมูล Menusim.Pas และ Procedure Out_File จากแฟ้มข้อมูล File_Ser.Lib

ถ้าเลือก B หมายถึงการคำนวณแบบจำลองลอยแร่โดยป้อนข้อมูลทางจอภาพและแป้นพิมพ์ ซึ่งเรียกใช้ Procedure In_Direct จากแฟ้มข้อมูล File_Ser.Lib, ProcedureCompute จากแฟ้มข้อมูล Menusim.Pas และ Procedure Out_File จากแฟ้มข้อมูล File_Ser.Lib

ถ้าเลือก C หมายถึงการแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณของแบบจำลองลอยแร่ออกทางจอภาพ ซึ่งเรียกใช้ Procedure Outsim จากแฟ้มข้อมูล Menusim.Pas

ถ้าเลือก D หมายถึงการแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณของแบบจำลองลอยแร่ออกทางเครื่องพิมพ์ ซึ่งเรียกใช้ Procedure Outsim จากแฟ้มข้อมูล Menusim.Pas

ถ้าเลือก E หมายถึงการสร้างหรือแก้ไขแฟ้มข้อมูล Ink.Dat ซึ่งใช้สำหรับป้อนข้อมูลเพื่อคำนวณหาค่าคงที่การลอยแร่ โดยเรียกใช้ Procedure Edit จากแฟ้มข้อมูล Editor.Lib ตัวอย่างแฟ้มข้อมูล Ink.Dat (รายละเอียดดูจากภาคผนวก (ช))

```
ROUGHER-BANK
3 4 1 1
WATER   FFAST   FSLOW   GANGUE
6.005   0.470   0.045   0.443
1.063   0.330   0.024   0.072
0.367   0.109   0.013   0.026
0.089   0.025   0.005   0.006
0.020   0.005   0.002   0.001
```

ถ้าเลือก F หมายถึงการสร้างหรือแก้ไขแฟ้มข้อมูลประเภท Text File ทั่วไป โดยเรียกใช้ Procedure Change_File จากแฟ้มข้อมูล File_Ser.Lib และ Procedure Edit จากแฟ้มข้อมูล Editor.Lib

. ถ้าเลือก G หมายถึงการสร้างหรือแก้ไขแฟ้มข้อมูล Input.Dat ซึ่งใช้สำหรับป้อนข้อมูลเพื่อคำนวณการจำลองลอยแร่ โดยเรียกใช้ Procedure Edit จากแฟ้มข้อมูล Editor.Lib ตัวอย่างแฟ้มข้อมูล Input.Dat (รายละเอียดดูจากภาคผนวก (ฌ))

```
3
      FFAST      FSLOW     GANGUE
2.5
3.2         2.8         2.45
6.0         60.0        5         35
%Caf2
100.0       80.0        0.0
1           1
0           15          5         0
3           0           0         0.02
1           1
0           20          10        0
3           0           0         1
5
4           2           3         2         2
```

ถ้าเลือก H หมายถึงการทำการคำนวณหาค่าคงที่อัตราการลอยแร่ โดยเรียกใช้ Procedure Flotpar จากแฟ้มข้อมูล Flotpar.Inc

ถ้าเลือก I หมายถึงการแสดงข้อมูลของแฟ้มข้อมูล Ink.Dat ซึ่งใช้สำหรับการคำนวณหาค่าคงที่อัตราการลอยแร่ออกทางจอภาพ โดยเรียกใช้ Procedure Kget_Data, Procedure Kdisplay จากแฟ้มข้อมูล Flotpar.Inc

ถ้าเลือก J หมายถึงการแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณหาค่าคงที่การลอยแร่ออกทางจอภาพ โดยเรียกใช้ Procedure Kout_Data จากแฟ้มข้อมูล Flotpar.Inc

ถ้าเลือก K หมายถึงการแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณหาค่าคงที่การลอยแร่ออกทางเครื่องพิมพ์ โดยเรียกใช้ Procedure Outkp จากแฟ้มข้อมูล Flotpar.Inc

ถ้าเลือก L หมายถึงการแสดงข้อความรายละเอียดของโปรแกรมออกทางจอภาพโดยเรียกใช้ Procedure Instruction จากแฟ้มข้อมูล File_Ser.Lib

ถ้าเลือก S หมายถึงการจัดการและบริการเกี่ยวกับแฟ้มข้อมูล เช่นการดูรายชื่อแฟ้มข้อมูล, การเปลี่ยนชื่อแฟ้มข้อมูลและการลบแฟ้มข้อมูล โดยเรียกใช้ Procedure Change_File จากแฟ้มข้อมูล File_Ser.Lib

ถ้าเลือก F หมายถึงการออกจากโปรแกรม

4.2.4 การใช้โปรแกรมแบบจำลองการลอยแร่

4.2.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้

1) เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิต แบบ IBM PC-XT

2) โปรแกรมจัดระบบงาน (MS-DOS) Version 2.00 ขึ้นไป

3) เครื่องขับดิสต์ 2 ตัว ขนาด 5(1/4)"

4) สำหรับแบบจำลองที่เขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน 77 เมื่อต้องการแก้ไข โปรแกรมหลัก(Main Program) จะต้องอาศัย Editor สำหรับเขียนตัวโปรแกรมเช่น Sidekick เป็นต้น และต้องมี Fortran 77 Compiler ซึ่งประกอบด้วยแฟ้มข้อมูลคือ For1.Exe, Pas2.Exe, Link.Exe, Lib.Exe, Fortran.Lib, Math.Lib และ 8087.Lib

5) แผ่นดิสค์เก็บข้อมูลตัวโปรแกรมแบบจำลองที่เขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน 77 ซึ่งประกอบด้วยแฟ้มข้อมูล Flotpar.For, Kin.Dat, Kout.Dat, Smain.For, Fsim.For, Fsim1.Dat, Out.Dat, Flotpar.Exe และ Smain.Exe

6) สำหรับแบบจำลองที่เขียนด้วยเทอร์โบปาสคาล 4.0 เมื่อต้องการแก้ไขโปรแกรมหลัก (Main Program) จะต้องมี Turbo Pascal Compiler ซึ่งประกอบด้วยแฟ้มข้อมูลคือ Turbo.Exe, Turbo.Tpl และ Tpc.Exe

7) แผ่นดิสค์เก็บข้อมูลตัวโปรแกรมแบบจำลองลอยแร่ที่เขียนด้วยเทอร์โบปาสคาล 4.0 ซึ่งประกอบด้วยแฟ้มข้อมูล Editor.Lib, Dos.Lib, Tools.Inc, Simula.Inc, File_Ser.Lib, Flotpar.Inc, Menusim.Pas, Ink.Dat, Outk.Dat, Input.Dat, Out.Dat, Menusim.Exe, Bined.Tpu, Gdriver.Tpu, Gkernel.Tpu, Gwindow.Tpu, Gshell.Tpu, 4x6.Fon และ 14x9.Fon

8) เครื่องพิมพ์ (ในกรณีที่ต้องการพิมพ์ผลทางเครื่องพิมพ์)

4.2.4.2 วิธีการใช้โปรแกรมแบบจำลองการลอยแร่ฟลูออไรต์

a) แบบจำลองลอยแร่ซึ่งเขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน 77

1) เปิดเครื่อง แล้วใส่แผ่น MS-DOS ที่ Drive A รอเครื่องทำงานสักครู่ จอภาพจะมีการถาม วัน เดือน ปี และเวลาปัจจุบัน ให้ตอบข้อมูล จนกระทั่งจอภาพปรากฏเครื่องหมาย A>

2) เอาแผ่น MS-DOS ออก ใส่แผ่นดีสต์ซึ่งมีแฟ้มข้อมูล Smain.Exe และ Fsim1.Dat เข้าแทนที่ พิมพ์คำว่า Smain แล้วกดคีย์รีเทิร์น

3) รอเครื่องทำงานสักครู่ จนกระทั่งจอภาพปรากฏเครื่องหมาย A> แสดงว่าโปรแกรมทำงานเสร็จเรียบร้อย และจะเก็บผลลัพธ์ไว้ในแฟ้มข้อมูล Out.Dat

4) ถ้าจะดูผลลัพธ์ของแบบจำลองลอยแร่ทางหน้าจอภาพ พิมพ์คำว่า Type Out.Dat แล้วกดคีย์รีเทิร์น สักครู่จะปรากฏข้อความดังรูป

	SOLIDS	WATER	FFAST	FSLOW	GANGUE
ROUGHER	.90	6.00	43.36	.00	56.64
%Caf2			100.00	80.00	.00
FLOTATION RATE CONSTANTS					
FLOATING		.00	15.00	5.00	.00
NON FLOATING		3.00	.00	.00	.02

VOL.OF CELL.	BETA
.20	.20

*** END BANK CALCULATION ***

NO.OF ITERATIONS

9

ROUGHER BANK

NO.OF CELLS 4 CELLS

CONC.FLOW RATE

CELL.NO

	SOLIDS	WATER	FFAST	FSLOW	GANGUE
1	.19	.457	.152	.000	.039
2	.14	.327	.109	.000	.029
3	.09	.219	.073	.000	.020
4	.06	.139	.046	.000	.013
TOTAL FLOW RATE (CU.M./HR.)					
	.48	1.141	.380	.000	.100

SCAVENG BANK

NO.OF CELLS 4 CELLS

CONC.FLOW RATE

CELL.NO

	SOLIDS	WATER	FFAST	FSLOW	GANGUE
1	.02	.071	.024	.000	.000
2	.02	.047	.016	.000	.000
3	.01	.031	.010	.000	.000
4	.01	.020	.007	.000	.000
TOTAL FLOW RATE (CU.M./HR.)					
	.06	.168	.056	.000	.000

1 CLEANER BANK

NO.OF CELLS 2 CELLS

CONC.FLOW RATE

CELL.NO

	SOLIDS	WATER	FFAST	FSLOW	GANGUE
1	.34	1.007	.336	.000	.007
2	.05	.148	.049	.000	.003
TOTAL FLOW RATE (CU.M./HR.)					
	.39	1.155	.385	.000	.009

2 CLEANER BANK

NO.OF CELLS 1 CELLS

CONC.FLOW RATE

CELL.NO

	SOLIDS	WATER	FFAST	FSLOW	GANGUE
1	.38	1.138	.379	.000	.004
TOTAL FLOW RATE (CU.M./HR.)					
	.38	1.138	.379	.000	.004

3 CLEANER BANK

NO.OF CELLS 1 CELLS

CONC.FLOW RATE

CELL.NO

	SOLIDS	WATER	FFAST	FSLOW	GANGUE
1	.38	1.136	.379	.000	.004

TOTAL FLOW RATE (CU.M./HR.)

.38 1.136 .379 .000 .004

CONC.FLOW RATE FROM THE CIRCUIT

1.136 .379 .000 .004

TAILING FROM THE LAST BANK

4.864 .012 .000 .507

TOTAL FEED TO THE FIRST BANK

6.173 .448 .000 .607

RECOVERY % 48.83

WATER RECOVERY % 18.93

FINAL CONC.

GRADE %METAL 99.264 %SOLIDS 51.80

RECOVERY (METAL)% 96.94

ROUGHER CONC.

GRADE %METAL 83.197 %SOLIDS 56.18

RECOVERY (METAL)% 84.86

5) ถ้าจะพิมพ์ผลลัพธ์ของแบบจำลองลอยแร่ ให้เปิดเครื่องพิมพ์ แล้วกดคีย์ Ctrl P พิมพ์คำว่า Type Out.Dat เครื่องพิมพ์ก็จะทำงานตามคำสั่ง

b) แบบจำลองลอยแร่ซึ่งเขียนด้วยเทอร์โบปาสคาล 4.0

1) เปิดเครื่อง แล้วใส่แผ่น MS-DOS ที่ Drive A รอ

เครื่องทำงานสักครู่ จอภาพจะมีการถาม วัน เดือน ปี และเวลาปัจจุบัน ให้ตอบข้อมูล จนกระทั่งจอภาพปรากฏเครื่องหมาย A>

2) เอาแผ่น MS-DOS ออก ใส่แผ่นดีสก์ซึ่งมีแฟ้มข้อมูล Menusim.Exe, Ink.Dat และ Input.Dat เข้าแทนที่ พิมพ์คำว่า Menusim แล้วกดคีย์รีเทิร์น

3) รอเครื่องทำงานสักครู่ จนกระทั่งจอภาพปรากฏดังรูปข้างล่างแล้วเลือกรายการที่ต้องการจากเมนู

```
DATE : Tue 01-01-80      MAIN MENU      TIME :  0: 4:49

        SIMULATION                          EDIT/CREATE

A.  Run Program by file                 E.  Create/ Edit K Data File
B.  Run Program by Interactive          F.  Create/ Edit Other Data File
C.  Display Output                      G.  Create/ Edit Input Data File
D.  Print Output

      K RATE CONSTANT                       MISCELLANEOUS

H.  Compute                             L.  Information
I.  Display Input File                  S.  File Service
J.  Display Output File                 X.  Exit to Operating System
K.  Print Output

                        Please Select... _
```