# บทที่ 4

## การประเมินประสิทธิภาพของวงจร

ในการประเมินประสิทธิภาพของวงจรการบดแร่นี้ ได้มีการเก็บข้อมูลชุดหนึ่งของวงจรการบดแร่จากโรงงานจริง มาเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าตัวแปรและค่าคงที่ของวงจรและหน่วยกระบวนการในวงจร สำหรับการประเมินหาประสิทธิภาพและความสามารถของหน่วยกระบวนการและวงจรการบดแร่ และใช้กับโปรแกรมการหาค่าตัวแปรของหน่วยกระบวนการในวงจรด้วย

### 4.1 ชุดข้อมูลของวงจรการบดแร่

ได้ทำการเก็บตัวอย่างแร่ในสายต่างของวงจรการบดแร่ 5 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างละ 5 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 30 นาที

ตัวอย่างที่ (1) แร่ป้อนเข้าวงจร

ตัวอย่างที่ (2) แร่ออกจากตะแกรงของหม้อบด เข้าไฮโดรไซโคลน

ตัวอย่างที่ (3) แร่ละเอียดจากไฮโดรไซโคลน

ตัวอย่างที่ (4) แร่หยาบจากไฮโดรไซโคลน

ตัวอย่างที่ (5) แร่หยาบจากตะแกรงของหม้อบด กลับเข้าหม้อบด

ซึ่งขณะทำการเก็บตัวอย่าง หม้อบดแร่และไฮโดรไซโคลนทำงานที่

-การทำงานของหม้อบด

เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 ฟุต ความยาว 5 ฟุต

ปริมาตร 14-15 ลบ.เมตร การหมุนรอบตัวเอง 16.5 รอบ/นาที

การออกแบบหม้อบด(Mill design) 24 ตัน/ชั่วโมง

-การทำงานของไฮโดรไซโคลน

| | | |
|---|---|---|
| เส้นผ่าศูนย์กลางไซโคลน(Cyclone dia.) | 10 | นิ้ว |
| ขนาดของทางเข้าแร่ป้อน(Inlet dia.) | 3 | นิ้ว |
| ขนาดของทางออกแร่ละเอียด(Vortex finder dia.) | 3 | นิ้ว |
| ขนาดของทางออกแร่หยาบ(Apex dia.) | 2.25 | นิ้ว |
| มุมกรวย(Cone angle) | 15 | องศา |

ความยาวทรงกระบอก(Cylinder length) 15 นิ้ว

จำนวนไฮโดรไซโคลน(Number of hydrocyclone) 2 ตัว

| ครั้งที่ | อัตราการป้อนแร่ (New feed) t/h. | ไฮโดรไซโคลน | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ความดัน (Bars) | ความหนาแน่น (kg/l) | | |
| | | | Feed | Overflow | Underflow |
| 1 | 46.89 | 0.721 | 2.02 | 1.71 | 2.32 |
| 2 | 50.01 | 0.726 | 2.07 | 1.66 | 2.41 |
| 3 | 47.72 | 0.732 | 2.04 | 1.68 | 2.39 |
| 4 | 46.22 | 0.734 | 2.10 | 1.72 | 2.30 |
| 5 | 46.67 | 0.775 | 2.01 | 1.72 | 2.34 |
| เฉลี่ย | 47.50 | 0.738 | 2.048 | 1.698 | 2.352 |

อัตราการไหลของแร่หยาบจากตะแกรงกลับเข้าหม้อบด 9.0 ตัน/ชั่วโมง กระแสไฟที่ใช้ในการหมุนหม้อบด 167.5 แอมแปร์

จากนั้นนำตัวอย่างที่ทำการเก็บมาได้ ทำการวิเคราะห์หาค่าความชื้นในแร่ป้อน และการกระจายของขนาด(Size Analysis) ซึ่งผลการกระจายของขนาดของตัวอย่างแร่ ดูจากตารางที่ 4.1

ค่าความชื้นในแร่ป้อน(Moisture Content)

| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 |
|---|---|---|
| แร่เปียก(Wet Ore),กรัม | 2455 | 1922 |
| แร่แห้ง(Dry Ore),กรัม | 2068 | 1628 |
| ความชื้น($H_2O$),กรัม | 387 | 294 |
| ความชื้น(Moisture Content),%$H_2O$ | 15.746 | 15.297 |

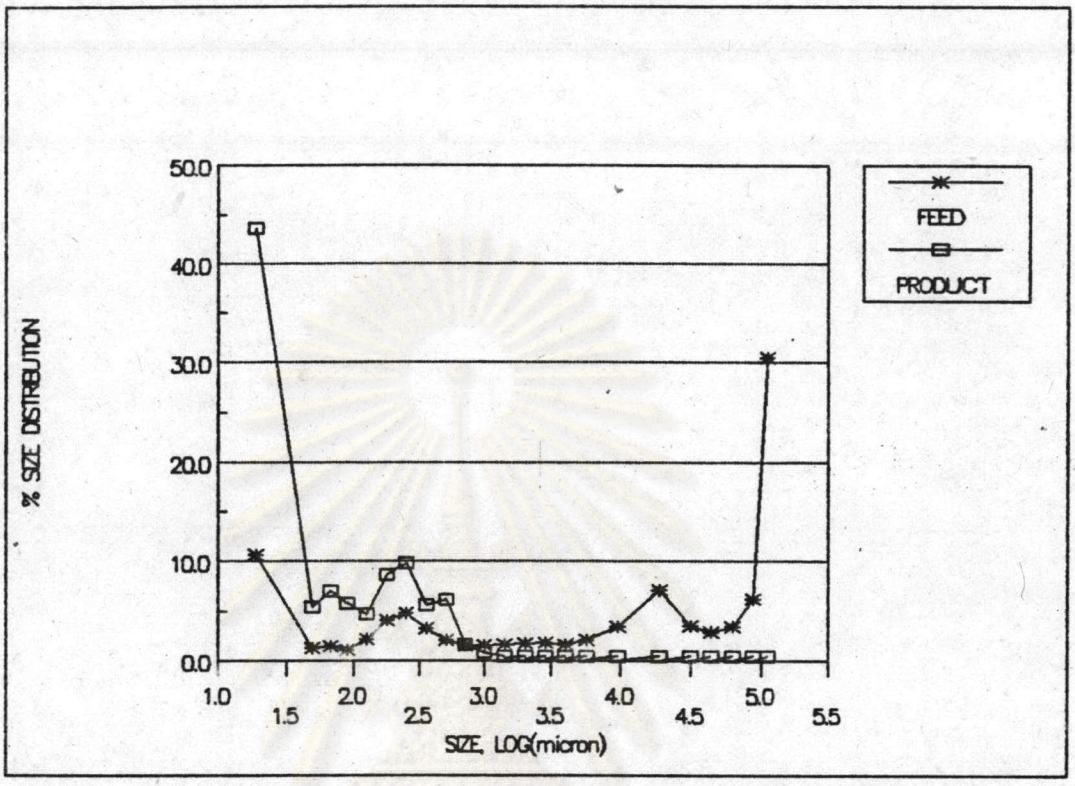
ความชื้นเฉลี่ย,%$H_2O$ = 15.531

ดังนั้น อัตราการป้อนแร่แห้ง(Dry feed) = 47.5.(100.0-15.531)/100.0

= 40.123 ตัน/ชั่วโมง

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายของขนาดของตัวอย่างที่เก็บจากวงจร

| ลำดับที่ | ผ่านตะแกรง (ไมครอน) | (1) % | (2) % | (3) % | (4) % | (5) % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 125200 | 30.5235 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 2 | 100160 | 6.2712 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 3 | 75120 | 3.4347 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 4 | 50080 | 2.9352 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 5 | 37560 | 3.4840 | .0000 | .0000 | .0000 | 7.3812 |
| 6 | 25040 | 7.1468 | .0000 | .0000 | .0000 | 47.1577 |
| 7 | 12520 | 3.4593 | .0714 | .0000 | .0956 | 27.5258 |
| 8 | 6680 | 2.1089 | .5263 | .0772 | .6376 | 11.7125 |
| 9 | 4699 | 1.6526 | 1.2845 | .1545 | 1.6196 | 2.7218 |
| 10 | 3327 | 1.7821 | 2.0070 | .1545 | 2.4166 | .5331 |
| 11 | 2362 | 1.7266 | 2.8900 | .1931 | 3.5325 | .1845 |
| 12 | 1651 | 1.6588 | 4.0853 | .2317 | 5.7897 | .1333 |
| 13 | 1168 | 1.5015 | 6.4669 | .7725 | 9.0161 | .1333 |
| 14 | 833 | 1.5169 | 10.1507 | 1.6222 | 13.8303 | .1640 |
| 15 | 589 | 2.0411 | 16.1092 | 6.1800 | 22.7635 | .1486 |
| 16 | 417 | 3.2188 | 16.4125 | 5.5620 | 13.0460 | .1897 |
| 17 | 295 | 4.8005 | 9.9902 | 9.8880 | 6.6951 | .2460 |
| 18 | 208 | 4.1037 | 2.8543 | 8.6520 | 3.6728 | .3281 |
| 19 | 147 | 2.1860 | 1.6769 | 4.7122 | 1.1924 | .1230 |
| 20 | 104 | 1.0791 | .5709 | 5.7937 | .9820 | .1435 |
| 21 | 74 | 1.4738 | 1.6234 | 7.0297 | 2.1552 | .1333 |
| 22 | 61 | 1.2579 | 1.1417 | 5.4075 | 1.0138 | .0974 |
| 23 | 37 | 10.6370 | 22.1390 | 43.5689 | 11.5412 | .9432 |
| รวม | | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 |




รูปที่ 4.1 การกระจายของขนาดในแร่ป้อน(New Feed) และแร่ผลลัพธ์(Final Product)ที่ได้จากวงจร ของข้อมูลที่ได้จากโรงงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 <u>การหาค่าตัวแปร</u>

จากชุดข้อมูลที่เก็บจากวงจร การคำนวณหาอัตราการไหล(Flow rate) และการหาการกระจายของขนาด(Size distribution)ของสายแร่ต่างๆ จะสามารถนำมาหาค่าตัวแปร(Parameter) และค่าคงที่(Constant) ของหน่วยกระบวนการต่างๆในวงจรการบดแร่นี้ได้ เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณสำหรับการทำนายผลที่ได้จากแบบจำลองของวงจรต่อไป

4.2.1 ตัวแปรของการบดแร่ด้วยหม้อบดแบบเซมิ-ออโตจีเนียส

เมื่อ

f,p = การกระจายของขนาด(Size Distribution)ของแร่ป้อน(Feed)และผลที่ได้(Product) ของขบวนการลดขนาดแร่ อยู่ในรูปของ n * 1 เมตริกซ์

A = สัมประสิทธิ์การแตกหักของแร่ที่ปรากฏอยู่ในขนาดต่างๆ(Appearance Function) ในแบบจำลองการผสมเข้ากันอย่างสมบูรณ์ อยู่ในรูปของ n * 1 เมตริกซ์

R = สัมประสิทธิ์การเลือกการแตกหักของแร่(Breakage Function) ในแบบจำลองการผสมเข้ากันอย่างสมบูรณ์ อยู่ในรูปของ n * n ไดอะโกนอลเมตริกซ์

D = สัมประสิทธิ์การไหลออกของแร่(Discharge Rate Function) ในแบบจำลองการผสมเข้ากันอย่างสมบูรณ์ อยู่ในรูปของ n * n ไดอะโกนอลเมตริกซ์

s = การกระจายของขนาดแร่ในหม้อบด

I = Unit Matrix

P = สัมประสิทธิ์สำหรับการหาค่า D/R จากค่า D/R มาตรฐาน

X = ค่าของ D/R มาตรฐานสำหรับหม้อบดตัวหนึ่งๆ

ในการทำนายผลที่ได้(Product) ของการบดแร่ด้วยหม้อบดแบบเซมิ-ออโตจีเนียสนั้นจะได้จากสมการ

$$p = D.R^{-1}.(I-A)^{-1}.(f-p)$$

I15737071

มีตัวแปรสำหรับการคำนวณคือ

F = อัตราการป้อนแร่(t/h)

f = การกระจายของขนาดในแร่ป้อน(%)

Amp = กระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับหม้อบด(Amps.)

และค่าคงที่คือ

X = ค่าของ D/R มาตรฐาน

ซึ่งขั้นตอนการหาค่า X คือ

1) หาค่า D/R จากสมการ

$$R.s = (I-A)^{-1}.(f-p) \text{ และ } p = D.R^{-1}.R.s$$

2) ใช้ค่า Amp และ F หาค่าสัมประสิทธิ์ P จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.1 เพื่อนำมาหาค่า X จากสมการ

$$D.R^{-1} = P.X$$

4.2.2 ตัวแปรของการคัดขนาดด้วยตะแกรง

ในการคำนวณหาผลที่ได้จากการคัดขนาดด้วยตะแกรง โดยทั่วไปจะคำนวณจากประสิทธิภาพของตะแกรง หรือสัดส่วนที่ถูกแยกไม่ผ่านตะแกรง(Fraction to Oversize) ซึ่งประสิทธิภาพของการคัดขนาดด้วยตะแกรงจะขึ้นกับตัวแปรหลายตัวเช่น

-ความหนาของชั้นวัตถุบนตะแกรง

-ความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่บนชั้นตะแกรง

-ลักษณะการเคลื่อนที่ของตะแกรง

-ความชื้นของผิววัตถุ

-อัตราการป้อน

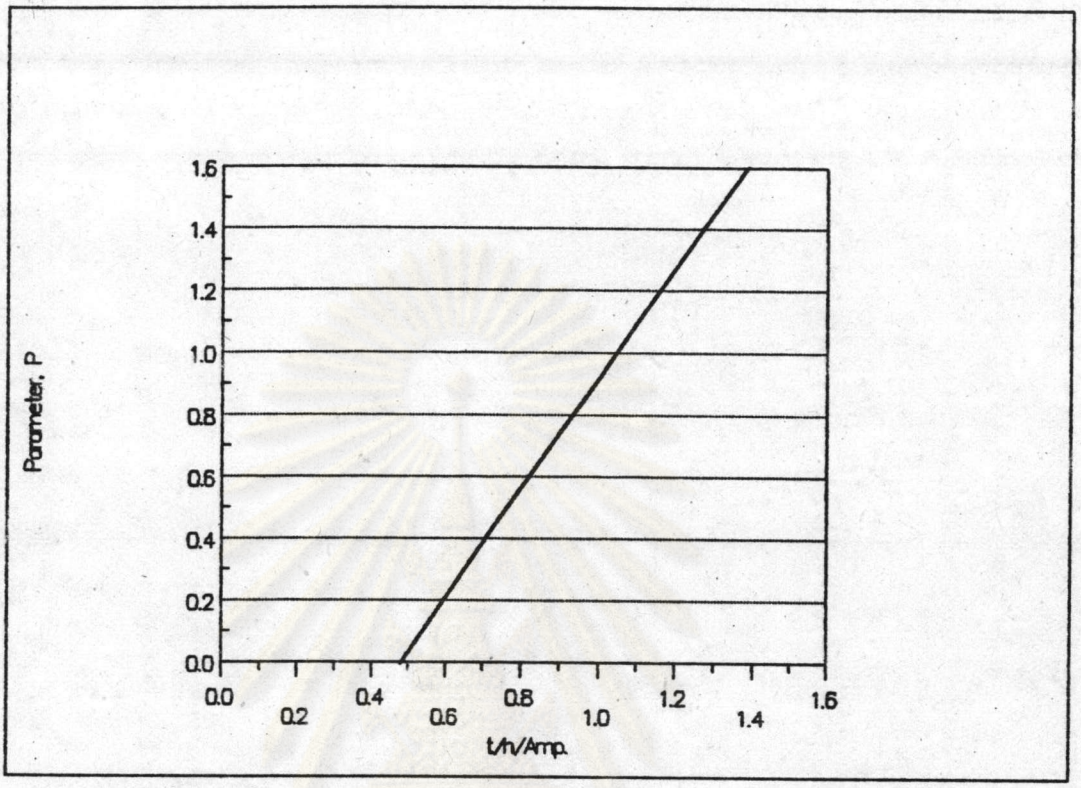
-เปอร์เซ็นต์ของรูตะแกรง

-ปริมาณของวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับรูตะแกรง

-รูปร่างของวัตถุ

-มุมที่วัตถุตกลงบนตะแกรง

แต่สำหรับตะแกรงในที่นี้เป็นตะแกรงที่ติดอยู่กับหม้อบด การหาตัวแปรหลายๆตัวเหล่า




รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สำหรับการหาค่า D/R จากค่า D/R มาตรฐาน(Parameter, P) กับอัตราการป้อนแร่ต่อกระแสไฟฟ้า(t/h/Amp.)ที่ใช้สำหรับหม้อบด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นี้ทำได้ยาก และถ้าเป็นการคัดขนาดที่สมบูรณ์แล้วค่าตัวแปรเหล่านี้ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการคัดขนาด ดังนั้น การคำนวณในที่นี้จะถือว่าประสิทธิภาพของการคัดขนาดเป็นค่าคงที่

เมื่อ F = อัตราการป้อน(Feed, t/h)

U = อัตราการไหลที่ลอดผ่านตะแกรง(Undersize, t/h)

O = อัตราการไหลที่ไม่ผ่านตะแกรง(Oversize, t/h)

f = %การกระจายของขนาดในแร่ป้อน

u = %การกระจายของขนาดในแร่ลอดผ่านตะแกรง

o = %การกระจายของแร่ที่ไม่ผ่านตะแกรง

ประสิทธิภาพสำหรับแร่ขนาดใดขนาดหนึ่ง(Efficiency in a specified size increment), Es = (O.o)/(F.f)

จากหลักการสมดุลของมวล

$$F = O + U$$

$$F.f = O.o + U.u$$

จะได้ $O/F = (f-u)/(o-u)$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของตะแกรง, Es $= (O.o)/(F.f)$

$= (o.(f-u))/(f.(o-u))$

### 4.2.3 ตัวแปรของการคัดขนาดด้วยไฮโดรไซโคลน

ในการคำนวณหาผลที่ได้จากการคัดขนาดด้วยไฮโดรไซโคลน ได้ใช้สัดส่วนที่ออกทางแร่ละเอียด(Fraction to overflow) เป็นประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลน จะมีตัวแปรจากการออกแบบ, ตัวแปรจากการทำงาน และค่าคงที่ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ในเรื่องแบบจำลองของไฮโดรไซโคลน ซึ่งการคำนวณหาค่าตัวแปรและค่าคงที่ต่างๆมีขั้นตอนดังนี้

1) อัตราการไหลของแร่และการกระจายของขนาดในแร่ป้อน(Feed) และผลที่ได้(Product) ได้จากการเก็บตัวอย่างและคำนวณปรับแก้โดยวิธีการปรับแก้แบบธรรมดา(Simple proportional adjustment)

2) ตัวแปรจากการออกแบบและตัวแบบจากการทำงาน เป็นข้อมูลที่เก็บจากวงจรการบดแร่

3) หาค่าประสิทธิภาพหรือสัดส่วนที่ออกทางแร่ละเอียด(Fraction to overflow)ที่ขนาดต่างๆ จาก

$$FTO = (o.(f-u))/(f.(o-u))$$

เมื่อ FTO = สัดส่วนที่ออกทางแร่ละเอียด(Fraction to overflow)

f = %การกระจายของขนาดในแร่ป้อน

o = %การกระจายของขนาดในแร่ที่ออกทางแร่ละเอียด(Overflow)

u = %การกระจายของขนาดในแร่ที่ออกทางแร่หยาบ(Underflow)

4) หาค่าปริมาณน้ำที่ขนาดเท่ากับศูนย์(Water split to overflow,C)

C = ค่าเฉลี่ยของตัวกลางระหว่าง $FTO_1$ ถึง $FTO_2$

เมื่อ $FTO_1$ = FTO ที่ขนาดที่เล็กที่สุด

$FTO_2$ = FTO ที่มีค่ามากที่สุด

5) หาค่าแห่งการคัดขนาดที่ 30%, 50%, 80% (d30c, d50c, d80c) จากกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนที่ออกทางแร่ละเอียด(Fraction to overflow)กับขนาดเฉลี่ยของเม็ดแร่(Arithmatic mean size)

6) หาค่าความหมดจดแห่งการคัดขนาด(a) จาก

$$d80c/d30c=(\log((\exp[a]-1).(1/0.8-1)+1)/(\log((\exp[a]-1).(1/0.3-1)+1)$$

7) ตัวแปร c, a, d50c จะนำไปใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของการคัดขนาด(E) ในแบบจำลองของไฮโดรไซโคลน

$$E = c.(\exp[a]-1)/(\exp[a.s/d50c]+\exp[a]-2)$$

8) คำนวณหาค่าคงที่ Kq, Kd, Kw, Kv จากสมการ

$$P^{-0.5} = K_q.D^{2}.R^{-0.5}.Q^{-1}.V^{0.6}.I^{0.45}.L^{0.2}.A^{-0.1}.D^{-0.15}$$

$$B = Al/(1-Al)^{3}$$

$$G = P/(R.g.D)$$

$$d_{50} = K_d.D.B^{0.93}.G^{-0.22}.V^{0.82}.S^{-0.47}.I^{-0.5}.L^{0.2}.A^{0.15}.D^{-0.65}$$

$$1-c = K_w.B^{0.26}.G^{-0.53}.V^{-1.19}.S^{2.39}.I^{-0.5}.L^{0.22}.A^{-0.24}$$

$$Q_u/Q = K_v .G^{-0.31}.V^{-0.94}.S^{-1.83}.I^{-0.25}.L^{0.22}.A^{-0.24}$$

ซึ่งสมการข้างบนนี้ได้แสดงไว้ในบทที่ 2 แล้ว และค่า Kq, Kd, Kw, Kv นี้จะใช้ในการคำนวณหาค่า c และผลอื่นๆที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรจากการออกแบบและตัวแปรจากการทำงานในแบบจำลองของไฮโดรไซโคลน

## 4.3 การสร้างโปรแกรมการจำลองแบบการบดแร่

เมื่อทราบถึงค่าตัวแปรและค่าคงที่ของหน่วยกระบวนการต่างๆในวงจรการบดแร่จากการหาค่าตัวแปรแล้ว ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงแร่ที่ป้อน และค่าตัวแปรอื่นๆของหน่วยกระบวนการนั้น ก็จะสามารถคำนวณผลที่ได้(Product)จากหน่วยกระบวนการได้ ซึ่งการคำนวณหาผลที่ได้นี้จะเป็น "แบบจำลอง" ของหน่วยกระบวนการและของวงจร เพราะจะสามารถคำนวณเพื่อทำนายผลที่ได้ โดยไม่ต้องทำการทดลองในการทำงานจริงๆได้อย่างใกล้เคียง

### 4.3.1 การคำนวณหาผลที่ได้จากการบดแร่

ในการคำนวณหาผลที่ได้(Product)จากการบดแร่ จะต้องมีข้อมูลที่ทราบค่าคือ

F = อัตราการป้อนแร่(t/h)

f = การกระจายของขนาดในแร่ป้อน(%)

Amp = กระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับหม้อบด(Amps.)

X = ค่าของ D/R มาตรฐาน

มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1) อัตราการไหลของแร่ออกจากหม้อบดเท่ากับอัตราการไหลของแร่ที่ถูกป้อนเข้าหม้อบด

2) หาค่าสัมประสิทธิ์(P)สำหรับการหาค่า D/R จากค่า D/R มาตรฐานกับสัดส่วนของอัตราการป้อนแร่(t/h)ต่อกระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับหม้อบด (Amps.)

และหาค่า D/R ได้จาก

$$D.R^{-1} = P.X$$

3) หาการกระจายของขนาดในแร่ที่ได้(Product) จาก

$$R.s = (I-A)^{-1}.(f-p)$$
$$p = D.R^{-1}.R.s$$

4.3.2 การคำนวณหาผลที่ได้จากการคัดขนาดด้วยตะแกรง

ในการคำนวณหาผลที่ได้(Product)จากการคัดขนาดแร่ด้วยตะแกรง จะต้องมีข้อมูลที่ทราบค่าคือ

F = อัตราการป้อนแร่(t/h)

f = การกระจายของขนาดในแร่ป้อน(%)

Es = ประสิทธิภาพของตะแกรง(สัดส่วนของแร่ที่ไม่ผ่านตะแกรงต่อแร่ป้อน)

มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1) หาอัตราการไหลของแร่ที่ไม่ผ่านตะแกรง(Oversize) จาก

$$o.O = f.F.Es$$
$$O = (sum(o.O))/100.0$$

2) หาอัตราการไหลของแร่ที่ลอดผ่านตะแกรง(Undersize) จาก

$$U = F - O$$

3) หาการกระจายของขนาดในแร่ที่ไม่ผ่านตะแกรงและในแร่ที่ลอดผ่านตะแกรง จาก

$$o = f.F.Es/O$$
$$u = f.F.(1.0-Es)/U$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3 การคำนวณหาผลที่ได้จากการคัดขนาดด้วยไฮโดรไซโคลน

ในการคำนวณหาผลที่ได้(Product)จากการคัดขนาดแร่ด้วยไฮโดรไซโคลน จะต้องมีข้อมูลที่ทราบค่าคือ

F = อัตราการป้อนแร่(t/h)

f = การกระจายของขนาดในแร่ป้อน(%)

ตัวแปรจากการออกแบบไฮโดรไซโคลน

- ความยาวของไซโคลน(D)
- ความยาวของทรงกระบอก(DL)
- ขนาดของทางเข้าแร่ป้อน(DI)
- ขนาดของทางออกแร่ละเอียด(DV)
- ขนาดของทางออกแร่หยาบ(DS)
- มุมกรวย(ANG)

และสภาวะการทำงานอื่นๆได้แก่;

- ความดันของการป้อนแร่(P)
- ความถ่วงจำเพาะของแร่ป้อน(S.G.)

และค่าคงที่สำหรับไฮโดรไซโคลนตัวหนึ่งๆ

- ความหมดจดของการคัดขนาด(a)
- ค่าคงที่เฉพาะของไฮโดรไซโคลน Kq, Kd, Kw, Kv

มีขั้นตอนการคำนวณโดยใช้สมการต่างๆในบทที่ 2 ดังนี้

1) คำนวณหาค่าอัตราการไหลเข้าทางป้อนแร่โดยปริมาตร(Q) และความหนาแน่น(Density, R)

2) คำนวณหาค่าแห่งการคัดขนาด(d50c) ค่าปริมาณน้ำที่ขนาดเท่ากับศูนย์(c) และอัตราการไหลของปริมาตรออกจากไฮโดรไซโคลน

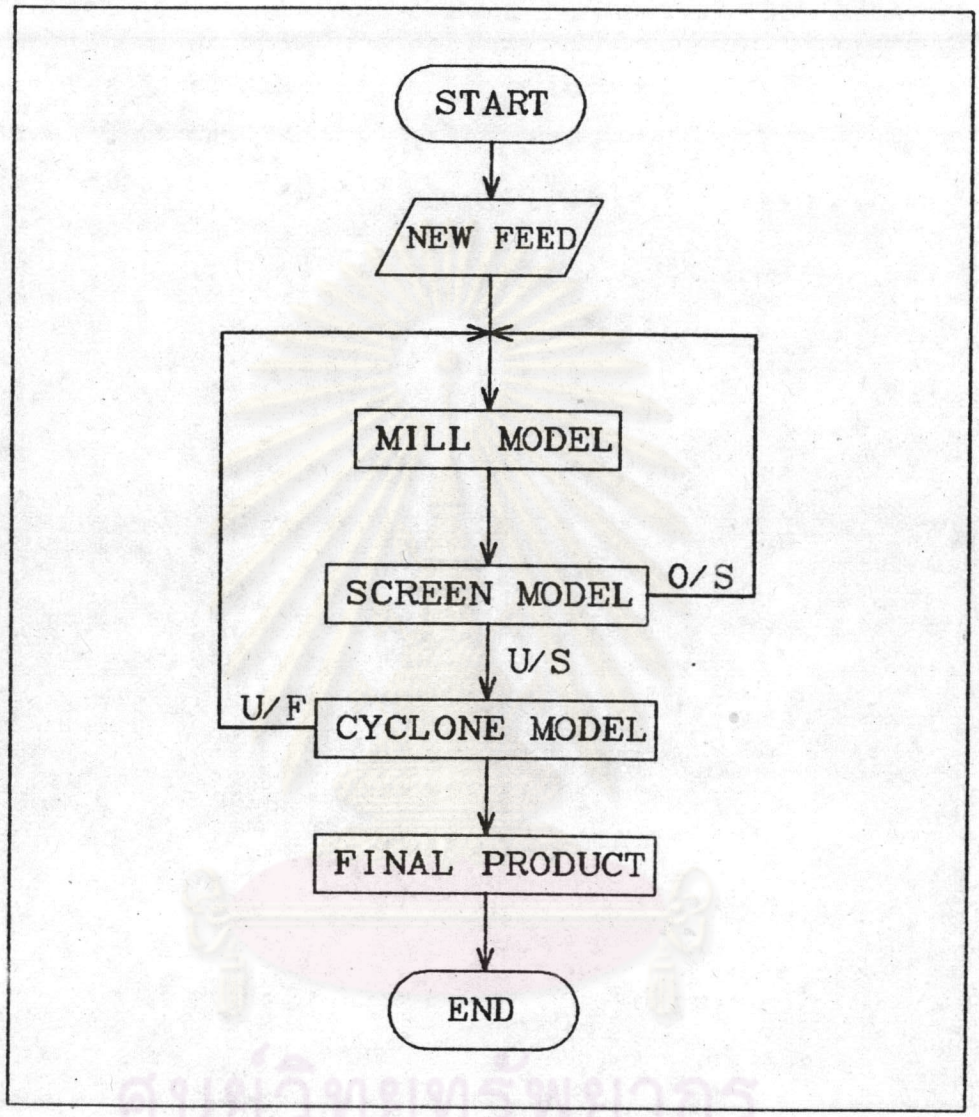
3) คำนวณหาอัตราการไหล และการกระจายของขนาดในแร่ที่ออกจากไฮโดรไซโคลน

4) คำนวณหาความหนาแน่น(Density) ของแร่ที่ออกจากไฮโดรไซโคลนและเปอร์เซ็นต์ของของแข็ง(%Solid)ของแร่ที่เข้าและออกจากไฮโดรไซโคลน

### 4.3.4 การโปรแกรมการจำลองแบบวงจรการบดแร่

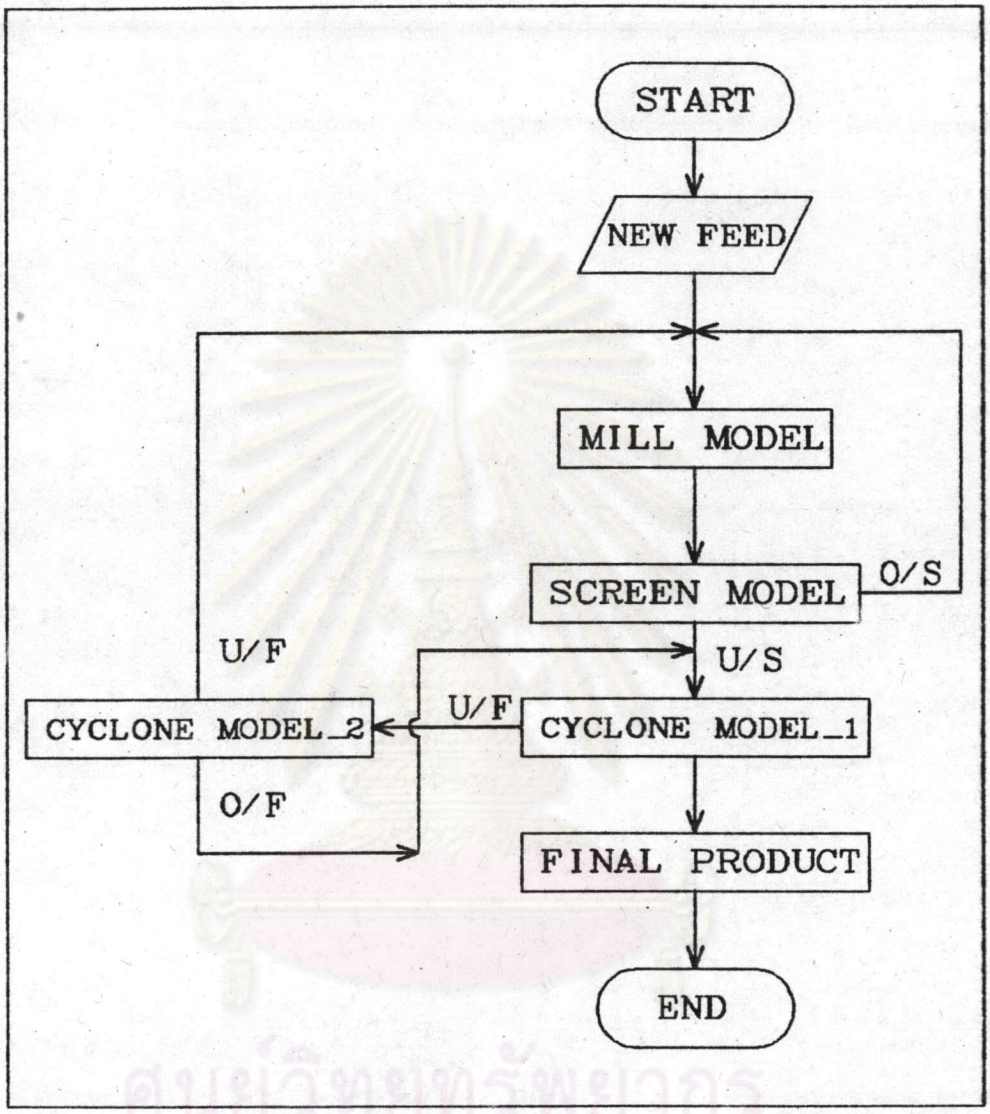
การโปรแกรมการจำลองแบบวงจรการบดแร่ จะเป็นการนำเอาแบบจำลองหรือการคำนวณหาผลที่ได้ของหน่วยกระบวนการต่างๆมาประกอบกันเข้าเป็นวงจรการบดแร่ เพื่อคำนวณหรือทำนายผลที่ได้จากวงจรนั้นๆ โดยการคำนวณหาผลที่ได้ของหน่วยกระบวนการนี้ เป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นโดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ Microsoft FORTRAN 77 version 3.3 ที่มีระบบการจัดการเป็น MS-DOS เพื่อใช้เป็นโปรแกรมย่อย(Subroutine)ในโปรแกรมการจำลองแบบของวงจร ซึ่งโปรแกรมการจำลองแบบนี้จะสามารถสร้างขึ้นโดยการเพิ่มหรือลดหน่วยกระบวนการ บางหน่วยกระบวนการในวงจรการบดแร่เดิมได้ โดยรูปที่ 4.3 เป็นแผนผังแสดงวงจรการจำลองแบบวงจรการบดแร่ที่สร้างขึ้นโดยเลียนแบบวงจรการบดแร่ของโรงงานที่มีอยู่เดิม และรูปที่ 4.4 เป็นแผนผังแสดงวงจรการจำลองแบบวงจรการบดแร่ที่สร้างขึ้นใหม่ โดยเพิ่มหน่วยกระบวนการคัดขนาดแร่ด้วยไฮโดรไซโคลนเข้าไปอีกหนึ่งชุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 4.3 วงจรการจำลองแบบวงจรการบดแร่ที่สร้างขึ้นโดยเลียนแบบวงจรการบดแร่ของโรงงานที่มีอยู่เดิม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 4.4 วงจรการจำลองแบบวงจรการบดแร่ที่สร้างขึ้นใหม่โดยเพิ่มหน่วยกระบวนการคัดขนาดแร่ด้วยไฮโดรไซโคลนเข้าไปอีกหนึ่งชุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.4 การใช้ข้อมูลจริงจากโรงงานกับโปรแกรมการหาค่าตัวแปร

โปรแกรมการหาค่าตัวแปรเป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ Microsoft FORTRAN 77 version 3.3 ที่มีระบบการจัดการเป็น MS-DOS เพื่อใช้ในคำนวณหาค่าตัวแปรของหน่วยกระบวนการต่างๆในวงจรการบดแร่ สำหรับวงจรของโรงงานนี้โดยเฉพาะ

มีแฟ้มข้อมูลที่ต้องป้อนเข้าสู่โปรแกรม(Input) 2 แฟ้มข้อมูลคือ

RAW : เป็นแฟ้มข้อมูลที่เป็นรายละเอียดทั่วไปของวงจร

BKAGE : เป็นแฟ้มข้อมูลของ CrushingและAbrasive Function

และมีแฟ้มข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์จากโปรแกรม(Output)ทั้งหมด 8 แฟ้มข้อมูลคือ

Cal_DATA : เป็นแฟ้มข้อมูลที่แสดงผลลัพธ์การคำนวณทั่วไปของ RAW DATA

FEED : เป็นแฟ้มข้อมูลที่จะใช้เป็นข้อมูลของแร่ป้อนในการเลียนแบบจำลอง

MILL : เป็นแฟ้มข้อมูลที่จะใช้เป็นข้อมูลตัวแปรและค่าคงที่ของหม้อบดแร่ในการเลียนแบบจำลอง

SCREEN : เป็นแฟ้มข้อมูลที่จะใช้เป็นข้อมูลตัวแปรและค่าคงที่ของตะแกรงคัดขนาดแร่ในการเลียนแบบจำลอง

CYCLONE : เป็นแฟ้มข้อมูลที่จะใช้เป็นข้อมูลตัวแปรและค่าคงที่ของไฮโดรไซโคลนคัดขนาดแร่ในการเลียนแบบจำลอง

และแฟ้มข้อมูล MILL_D, SCR_D, CYC_D เป็นแฟ้มข้อมูลรายละเอียดของแฟ้มข้อมูล MILL, SCREEN, CYCLONE ตามลำดับ ซึ่งแฟ้มข้อมูล FEED, MILL, SCREEN และ CYCLONE จะเป็นแฟ้มข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นโดยโปรแกรมการหาค่าตัวแปรเพื่อนำไปใช้ในโปรแกรมเลียนแบบจำลองที่จะกล่าวถึงในบทที่ 5 ต่อไป ดังนั้นแฟ้มข้อมูลเหล่านี้จะนำไปแสดงไว้ในบทที่ 5 ส่วนแฟ้มข้อมูล RAW, BKAGE, CAL_DATA, MILL_D, SCR_D และ CYC_D แสดงไว้ตามตารางที่ 4.2 ถึง 4.7 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจากโรงงานสำหรับโปรแกรมการหาค่าตัวแปรของวงจรการบดแร่ ในแฟ้ม(File)ชื่อ RAW

PADAENG THE FIRST DATA

NEW FEED FLOW RATE : 40.1 t/h(dry) Mill Motor current : 167.5 Amps.
MILL C.L.FLOW RATE : 9.0 t/h(dry) No.of Size Range : 23

| No. | UNDER MICRON | NEW FEED(g) | CYCLONE FEED(g) | CYCLONE O/F (g) | CYCLONE U/F (g) | MILL C.L.(g) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 125200 | 4950.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 100160 | 1017.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 75120 | 557.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | 50080 | 476.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 37560 | 565.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1440.0 |
| 6 | 25040 | 1159.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9200.0 |
| 7 | 12520 | 561.0 | 4.0 | 0.0 | 7.5 | 5370.0 |
| 8 | 6680 | 342.0 | 29.5 | 1.0 | 50.0 | 2285.0 |
| 9 | 4699 | 268.0 | 72.0 | 2.0 | 127.0 | 531.0 |
| 10 | 3327 | 289.0 | 112.5 | 2.0 | 189.5 | 104.0 |
| 11 | 2362 | 280.0 | 162.0 | 2.5 | 277.0 | 36.0 |
| 12 | 1651 | 269.0 | 229.0 | 3.0 | 454.0 | 26.0 |
| 13 | 1168 | 243.5 | 362.5 | 10.0 | 707.0 | 26.0 |
| 14 | 833 | 246.0 | 569.0 | 21.0 | 1084.5 | 32.0 |
| 15 | 589 | 331.0 | 903.0 | 80.0 | 1785.0 | 29.0 |
| 16 | 417 | 522.0 | 920.0 | 72.0 | 1023.0 | 37.0 |
| 17 | 295 | 778.5 | 560.0 | 128.0 | 525.0 | 48.0 |
| 18 | 208 | 665.5 | 160.0 | 112.0 | 288.0 | 64.0 |
| 19 | 147 | 354.5 | 94.0 | 61.0 | 93.5 | 24.0 |
| 20 | 104 | 175.0 | 32.0 | 75.0 | 77.0 | 28.0 |
| 21 | 74 | 239.0 | 91.0 | 91.0 | 169.0 | 26.0 |
| 22 | 61 | 204.0 | 64.0 | 70.0 | 79.5 | 19.0 |
| 23 | 37 | 1725.0 | 1241.0 | 564.0 | 905.0 | 184.0 |

ตารางที่ 4.2(ต่อ) ข้อมูลจากโรงงานสำหรับโปรแกรมการหาค่าตัวแปรของวงจรการบดแร่ ในแฟ้ม(File)ชื่อ RAW

CYCLONE OPERATION DATA

| | | |
|---|---|---|
| No. of Cyclone | 2 | |
| Sp.Gr. of Solid | 3.232 | |
| Pressure | 0.738 | Bars |
| Cyclone Diameter | 10.00 | INCH. |
| Vortex Finder Diameter | 3.00 | INCH. |
| Spigot Diameter | 2.25 | INCH. |
| Cyclone Angle | 15.00 | Degrees |
| Inlet Diameter | 3.00 | INCH. |
| Cyclone Length | 15.00 | INCH. |
| Acc.due to Gravity | 9.81 | m/s^2 |
| Sp.Gr. of Liquid | 1.305 | |
| Feed Density | 2.047 | kg/l |
| Underflow Density | 2.353 | kg/l |

หน่วยของค่าต่างๆข้างต้น และะหน่วยของค่าต่างๆที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรมการจำลองแบบต่อไป เป็นหน่วยซึ่งใช้ในการทำงานภายในโรงงานผลิตสังกะสี บริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด แห่งนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราการแตกหักของแร่(Breakage Function)ในแฟ้ม(File) ชื่อ BKAGE

ABRASION AND CRUSHING BREAKAGE FUNCTION

| NO. | ABRASION | CRUSHING |
|---|---|---|
| 1 | .9000 | .0000 |
| 2 | .0352 | .0000 |
| 3 | .0002 | .0000 |
| 4 | .0007 | .0000 |
| 5 | .0011 | .0000 |
| 6 | .0018 | .0000 |
| 7 | .0022 | .0000 |
| 8 | .0026 | .0000 |
| 9 | .0026 | .0836 |
| 10 | .0026 | .2070 |
| 11 | .0026 | .1640 |
| 12 | .0026 | .1300 |
| 13 | .0026 | .1114 |
| 14 | .0026 | .0811 |
| 15 | .0026 | .0611 |
| 16 | .0026 | .0440 |
| 17 | .0026 | .0329 |
| 18 | .0026 | .0237 |
| 19 | .0026 | .0163 |
| 20 | .0026 | .0124 |
| 21 | .0026 | .0088 |
| 22 | .0026 | .0063 |
| 23 | .0033 | .0044 |
| 24 | .0042 | .0032 |
| 25 | .0050 | .0022 |
| 26 | .0000 | .0000 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 การคำนวณเบื้องต้นจากแฟ้ม RAW แล้วเก็บไว้ในแฟ้มชื่อ CAL_DATA

PADAENG THE FIRST DATA

NEW FEED FLOW RATE : 40.1 t/h.dry MILL MOTOR CURRENT : 167.5 Amps.

MILL C.L.FLOW RATE : 9.0 t/h.dry NO. OF SIZE RANGE : 23

| NO. | ARI.MEAN SIZE | NEW FEED | CYC.FEED | CYC.O/F | CYC.U/F | MILL C.L. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 112680.0 | 30.5235 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 2 | 87640.0 | 6.2712 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 3 | 62600.0 | 3.4347 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 4 | 43820.0 | 2.9352 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 5 | 31300.0 | 3.4840 | .0000 | .0000 | .0000 | 7.3812 |
| 6 | 18780.0 | 7.1468 | .0000 | .0000 | .0000 | 47.1577 |
| 7 | 9600.0 | 3.4593 | .0714 | .0000 | .0956 | 27.5258 |
| 8 | 5689.5 | 2.1089 | .5263 | .0772 | .6376 | 11.7125 |
| 9 | 4013.0 | 1.6526 | 1.2845 | .1545 | 1.6196 | 2.7218 |
| 10 | 2844.5 | 1.7821 | 2.0070 | .1545 | 2.4166 | .5331 |
| 11 | 2006.5 | 1.7266 | 2.8900 | .1931 | 3.5325 | .1845 |
| 12 | 1409.5 | 1.6588 | 4.0853 | .2317 | 5.7897 | .1333 |
| 13 | 1000.5 | 1.5015 | 6.4669 | .7725 | 9.0161 | .1333 |
| 14 | 711.0 | 1.5169 | 10.1507 | 1.6222 | 13.8303 | .1640 |
| 15 | 503.0 | 2.0411 | 16.1092 | 6.1800 | 22.7635 | .1486 |
| 16 | 356.0 | 3.2188 | 16.4125 | 5.5620 | 13.0460 | .1897 |
| 17 | 251.5 | 4.8005 | 9.9902 | 9.8880 | 6.6951 | .2460 |
| 18 | 177.5 | 4.1037 | 2.8543 | 8.6520 | 3.6728 | .3281 |
| 19 | 125.5 | 2.1860 | 1.6769 | 4.7122 | 1.1924 | .1230 |
| 20 | 89.0 | 1.0791 | .5709 | 5.7937 | .9820 | .1435 |
| 21 | 67.5 | 1.4738 | 1.6234 | 7.0297 | 2.1552 | .1333 |
| 22 | 49.0 | 1.2579 | 1.1417 | 5.4075 | 1.0138 | .0974 |
| 23 | 18.5 | 10.6370 | 22.1390 | 43.5689 | 11.5412 | .9432 |
| 80 | %PASSING | 96273.0 | 656.3 | 213.7 | 810.8 | 16323.6 |
| 200 | #PASSING | 13.695 | 25.077 | 57.758 | 15.007 | 1.217 |

ตารางที่ 4.5 รายละเอียดการคำนวณหาค่าตัวแปรของหม้อบดเก็บไว้ในแฟ้มชื่อ MILL_D

DETAIL OF MILL PARAMETER

No. of Size Range : 23 Mill Motor Current : 167.5

Mill Feed Flow Rate : 146.2 t/h.

| NO. | ARI.MEAN SIZE | Feed | Disc. | R*s | D/R | D/Rstd. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 112680.0 | 8.373 | .000 | 122.39930 | .00000 | .00000 |
| 2 | 87640.0 | 1.720 | .000 | 68.23203 | .00000 | .00000 |
| 3 | 62600.0 | .942 | .000 | 38.03548 | .00000 | .00000 |
| 4 | 43820.0 | .805 | .000 | 26.15186 | .00000 | .00000 |
| 5 | 31300.0 | 1.410 | .454 | 25.07637 | .02649 | .03824 |
| 6 | 18780.0 | 4.864 | 2.903 | 40.75792 | .10413 | .15032 |
| 7 | 9600.0 | 2.708 | 1.760 | 32.78391 | .07847 | .11329 |
| 8 | 5689.5 | 1.741 | 1.190 | 25.49453 | .06825 | .09853 |
| 9 | 4013.0 | 1.727 | 1.329 | 2.36636 | .82113 | 1.18539 |
| 10 | 2844.5 | 2.210 | 1.798 | 2.03202 | 1.29357 | 1.86740 |
| 11 | 2006.5 | 2.942 | 2.567 | 2.40255 | 1.56178 | 2.25459 |
| 12 | 1409.5 | 4.282 | 3.879 | 2.87088 | 1.97531 | 2.85155 |
| 13 | 1000.5 | 6.361 | 6.142 | 3.04243 | 2.95123 | 4.26040 |
| 14 | 711.0 | 9.574 | 9.588 | 3.04042 | 4.60976 | 6.65464 |
| 15 | 503.0 | 15.087 | 15.974 | 1.92745 | 12.11501 | 17.48922 |
| 16 | 356.0 | 11.403 | 12.808 | 1.05639 | 17.72272 | 25.58450 |
| 17 | 251.5 | 6.563 | 8.282 | .31369 | 38.59513 | 55.71590 |
| 18 | 177.5 | 2.830 | 3.766 | 1.19548 | 4.60466 | 6.64728 |
| 19 | 125.5 | 1.218 | 1.837 | 1.58976 | 1.68884 | 2.43801 |
| 20 | 89.0 | .353 | 1.397 | .90845 | 2.24862 | 3.24610 |
| 21 | 67.5 | 1.194 | 2.450 | .41386 | 8.65294 | 12.49138 |
| 22 | 49.0 | .640 | 1.620 | .63719 | 3.71662 | 5.36531 |
| 23 | 18.5 | 11.051 | 20.254 | .00000 | .00000 | .00000 |

ตารางที่ 4.6 รายละเอียดการคำนวณหาค่าตัวแปรของตะแกรงเก็บไว้ในแฟ้มชื่อ SCR_D

DETAIL OF SCREEN FRACTION TO OVERSIZE

| NO. | ARI.MEAN | Feed | O/S | U/S | FRAC.TO_O/S |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 112680.0 | .000 | .000 | .000 | 1.00000 |
| 2 | 87640.0 | .000 | .000 | .000 | 1.00000 |
| 3 | 62600.0 | .000 | .000 | .000 | 1.00000 |
| 4 | 43820.0 | .000 | .000 | .000 | 1.00000 |
| 5 | 31300.0 | .454 | 7.381 | .000 | 1.00000 |
| 6 | 18780.0 | 2.903 | 47.158 | .000 | 1.00000 |
| 7 | 9600.0 | 1.760 | 27.526 | .070 | .96293 |
| 8 | 5689.5 | 1.190 | 11.713 | .500 | .60579 |
| 9 | 4013.0 | 1.329 | 2.722 | 1.238 | .12607 |
| 10 | 2844.5 | 1.798 | .533 | 1.881 | .01825 |
| 11 | 2006.5 | 2.567 | .185 | 2.723 | .00443 |
| 12 | 1409.5 | 3.879 | .133 | 4.125 | .00212 |
| 13 | 1000.5 | 6.142 | .133 | 6.537 | .00134 |
| 14 | 711.0 | 9.588 | .164 | 10.206 | .00105 |
| 15 | 503.0 | 15.974 | .149 | 17.013 | .00057 |
| 16 | 356.0 | 12.808 | .190 | 13.635 | .00091 |
| 17 | 251.5 | 8.282 | .246 | 8.809 | .00183 |
| 18 | 177.5 | 3.766 | .328 | 3.991 | .00536 |
| 19 | 125.5 | 1.837 | .123 | 1.949 | .00412 |
| 20 | 89.0 | 1.397 | .144 | 1.480 | .00632 |
| 21 | 67.5 | 2.450 | .133 | 2.602 | .00335 |
| 22 | 49.0 | 1.620 | .097 | 1.720 | .00370 |
| 23 | 18.5 | 20.254 | .943 | 21.521 | .00287 |

ตารางที่ 4.7 รายละเอียดการคำนวณหาค่าตัวแปรของไฮโดรไซโคลนเก็บไว้ในแฟ้มชื่อ CYC_D

DETAIL OF CYCLONE PARAMETER

d50c = 266.7 micron. C-Water Split = .67990

| NO. | ARI.MEAN SIZE | FEED | O/F | U/F | RTO_OBS | RTO_PDT |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 112680.0 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 |
| 2 | 87640.0 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 |
| 3 | 62600.0 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 |
| 4 | 43820.0 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 |
| 5 | 31300.0 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 |
| 6 | 18780.0 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 |
| 7 | 9600.0 | .070 | .002 | .097 | .008 | .000 |
| 8 | 5689.5 | .500 | .103 | .664 | .060 | .000 |
| 9 | 4013.0 | 1.238 | .201 | 1.666 | .047 | .000 |
| 10 | 2844.5 | 1.881 | .280 | 2.542 | .044 | .000 |
| 11 | 2006.5 | 2.723 | .360 | 3.699 | .039 | .000 |
| 12 | 1409.5 | 4.125 | .192 | 5.750 | .014 | .000 |
| 13 | 1000.5 | 6.537 | .703 | 8.946 | .031 | .000 |
| 14 | 711.0 | 10.206 | 1.567 | 13.775 | .045 | .001 |
| 15 | 503.0 | 17.013 | 5.277 | 21.860 | .091 | .024 |
| 16 | 356.0 | 13.635 | 8.339 | 15.823 | .179 | .150 |
| 17 | 251.5 | 8.809 | 11.069 | 7.876 | .367 | .377 |
| 18 | 177.5 | 3.991 | 7.515 | 2.536 | .550 | .535 |
| 19 | 125.5 | 1.949 | 4.440 | .920 | .666 | .608 |
| 20 | 89.0 | 1.480 | 4.885 | .073 | .965 | .640 |
| 21 | 67.5 | 2.602 | 6.051 | 1.177 | .680 | .654 |
| 22 | 49.0 | 1.720 | 4.829 | .436 | .821 | .664 |
| 23 | 18.5 | 21.521 | 44.187 | 12.159 | .600 | .675 |
| DENSITY | | 2.047 | 1.740 | 2.353 | | |

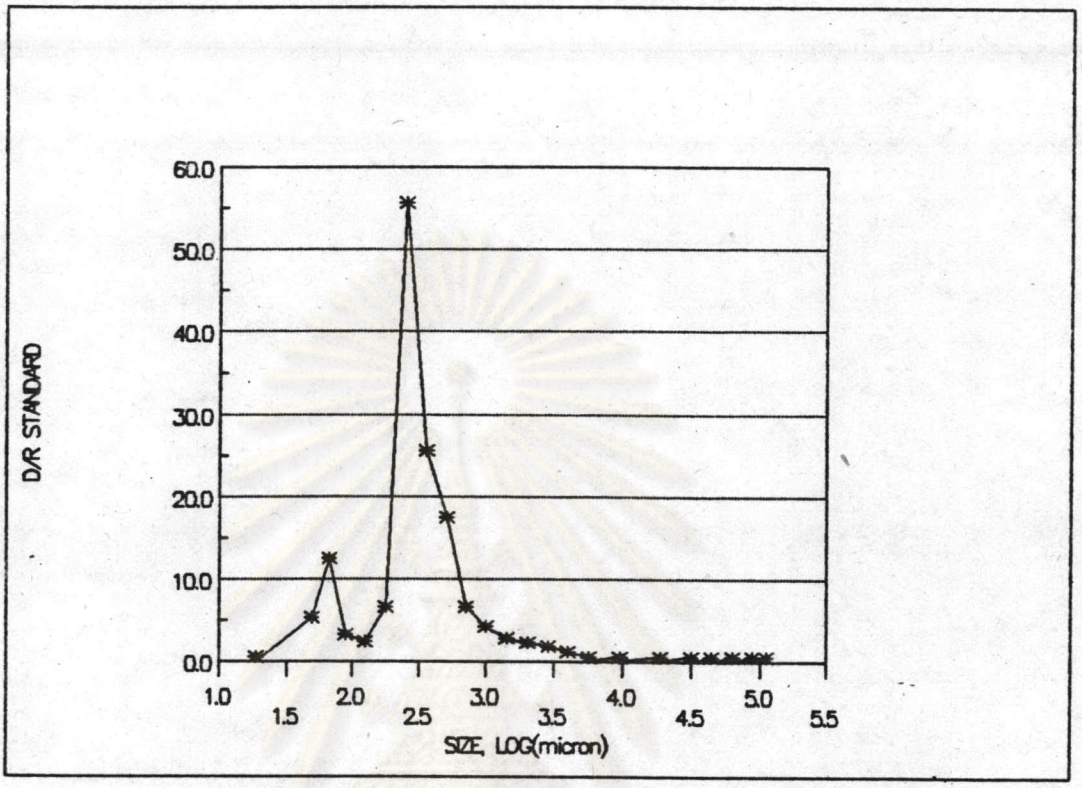
จากแฟ้มข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์จากโปรแกรมการหรค่าตัวแปร จะทำให้ทราบถึงค่าคงที่และค่าตัวแปรต่างๆของหน่วยกระบวนการในวงจรการบดแร่ คือ

หม้อบดแร่ จะมีค่าคงที่ของหม้อบด คือค่าของ D/R มาตรฐาน ซึ่งจะนำมาใช้ในการคำนวณหาผลที่ได้(Product) ของหน่วยกระบวนการบดแร่ด้วยหม้อบด ซึ่งค่าความสัมพันธ์ของ D/R มาตรฐานของหม้อบดกับขนาดเฉลี่ยของเม็ดแร่แสดงดังรูปที่ 4.5

ตะแกรงคัดขนาด จะทราบถึงประสิทธิภาพของการคัดขนาดหรือสัดส่วนที่ออกไปทางแร่ที่ไม่ผ่านตะแกรง(Fraction to Oversize) ซึ่งถือว่าเป็นค่าคงที่ของตะแกรงนี้ ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของการคัดขนาดกับขนาดเฉลี่ยของเม็ดแร่แสดงดังรูปที่ 4.6

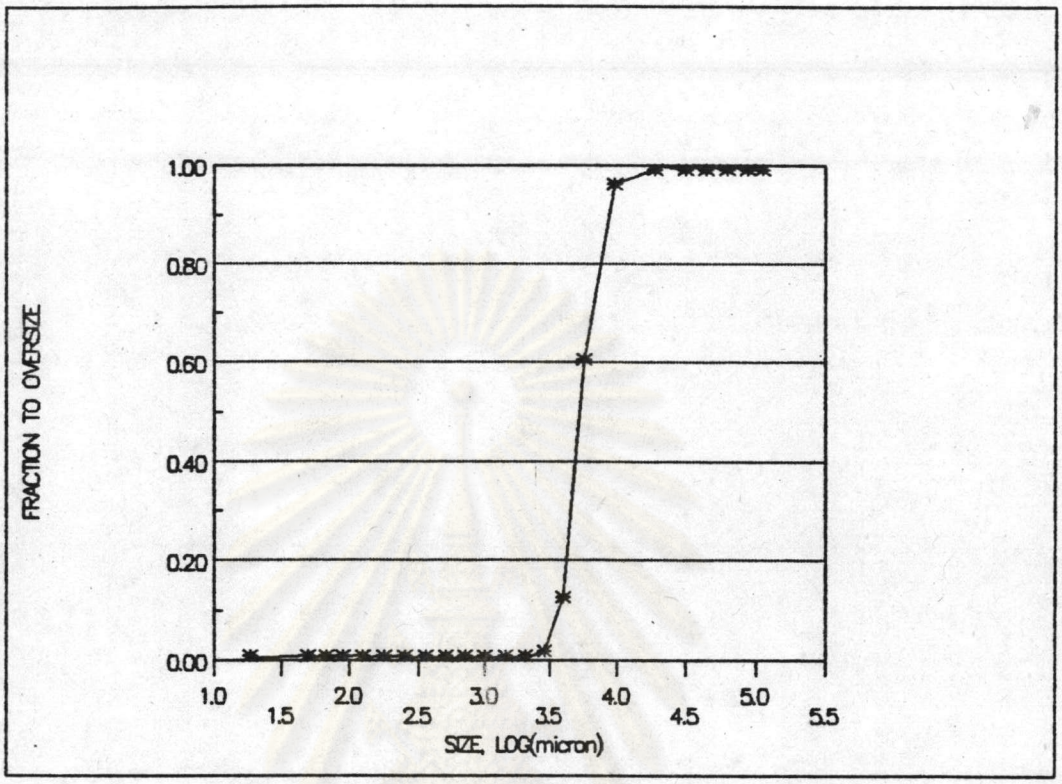
ไฮโดรไซโคลน จะทราบถึงค่าคงที่ของไฮโดรไซโคลน $K_{\alpha}$, $K_{\beta}$, $K_{\omega}$, $K_{\nu}$ และค่าความหมดจดของการคัดขนาด(a) ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพของการคัดขนาดด้วยไฮโดรไซโคลน หรือสัดส่วนของการคัดขนาดไปทางแร่ละเอียด (Fraction to Overflow) เพื่อนำไปใช้ในการทำนายผลที่ได้จากการคัดขนาด (Product) ของไฮโดรไซโคลนต่อไป ซึ่งรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพของการคัดขนาดด้วยไฮโดรไซโคลนที่เก็บข้อมูลจากโรงงาน และที่คำนวณได้จากค่าคงที่ต่างๆของโปรแกรมการหาค่าตัวแปร กับขนาดเฉลี่ยของเม็ดแร่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



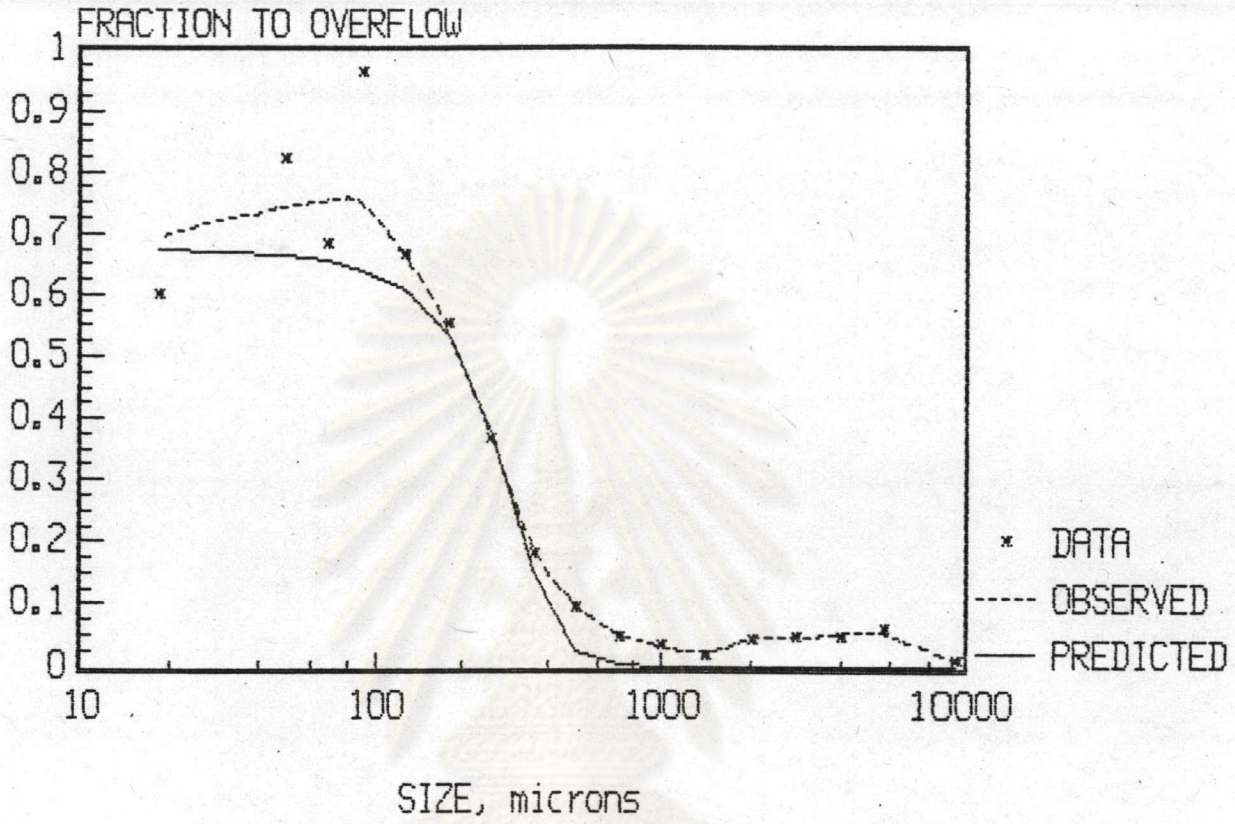

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า D/R มาตรฐานกับขนาดเฉลี่ยของเม็ดแร่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของการคัดขนาดด้วยตะแกรงกับขนาดเฉลี่ยของเม็ดแร่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของการคัดขนาดด้วยไฮโดรไซโคลน ของข้อมูลจากโรงงาน(Observed) และจากการคำนวณ(Predicted) กับขนาดเฉลี่ยของเม็ดแร่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย