รายการอ้างอิง

1. Remy, H. Treatise on inorganic chemistry. Vol. 1. Amsterdam: Elsevisr Publishing, 1956.
2. James C. P. C. Cane sugar handbook. 11th ed. New York: John Wiley & Sons, 1985.
3. Technical-Ecomomical improvements in Molasses Distilleries. ALFA-LAVAL, (n.d.)
4. Rose, A. H., and Harrison, J. S. The yeast. Vol 2:Physiology and biochemistry of yeast. London: Academic Press, 1971.
5. Masterion, W. L., Slowinski, E. J., and Stanitski, C. L. Chemical principles. Philadelphia: Holt-Saunders, 1981.
6. สุชาวดี ไวว่องกิจการ. "การตกผลึกคอปเปอร์ซัลเฟตในเครื่องตกผลึกแบบซาห์นโฮล" (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตสาขาวิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539). หน้า 2-3.
7. Ebbing, D. D. General Chemistry. 5th ed. Boston: Houghton Miffin, 1996.
8. Snoeyink, V. L., and Jenking, D. Water Chemistry. New York: John Wiley & Sons, 1980.
9. Spiegler, K. S. Principle of desalination. New York: Academic Press, 1966.
10. Burns, D. T., Townshend, A., and Catchpole, A.G. Inorganic reaction chemistry. Vol.1: Systematic chemical separation. Chichester: Ellis Horwood, 1980.
11. นันทนา อิทธิพรโกวิท. "การกำจัดโลหะหนักของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทีลและครอสลิ้ง-แซนเทตที่ทำจากผักตบชวา" (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2538). หน้า 3-25.
12. Simon, G.P. Ion exchange training manual. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
13. Cheremisinoff, P. N. Handbook of water and waste water treatment technology. New York: Maccel Dekker. 1995.
14. โรงงานสุราบางยี่ขัน 2. กรรมวิธีการผลิตสุราขาวและสุราแม่โขง. ปทุมธานี, (ม.ป.ป.). (อัดสำเนา)
15. Schoenrock, K. W. R., Richey, P., and Rounds, H. G. Process for the decalcification sugar beet juice. US Patent Number 3,887,391 (June 1975).

16. Nakasone, S. and Miyagi, S. Process for clarification and desalinating sugar cane syrup or molasses. US Patent Number 4,492,601 (January 1985).

17. Yamauchi, T., Kokubu, T., and Miyagi, S. Desalination by electrodialysis in the cane raw sugar factory Sugar Journal 87(1985): 3-10

18. Rimedio, N. T., and Chem, L. F.Chromatographic separation of organic non-sugars, colloidal matterials and inorganic-organic complexes from juices, liquors, syrups and/or molasses. US Patent Number 5,382,294 (January 1995).

19. Saska, M., and Lancrenon, X. Process for softening a sugar containing aquesous solution, such as sugar juice or molasses. US Patent Number 5,443,650 (August 1995).

20. Clarke, S. J.,and Rouge, B. Softening and purification of molasses or syrup. US Patent Number 5,454,875 (October 1995).

21. Kaseno and Kokugan, T. The effect of molasses pretreatment by ceramic microfiltration membrane on ethanol fermentation.Journal of Fermentation and Bioengineering.83(1997): 577-582.

22. Payne, J. H. Sugar cane factory analytical control. 1968.

23. Vogel, A.Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis. 5th ed. Longdon: ELBS, 1989.

24. Stephen, R. S., and Robert G. L. Understanding Industrial Designed Experiments. 4th ed. Colorado: Air Academy Press, 1994.

25. Perry, R.H., and Green D.W. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 6th ed. New York: Mc Graw Hill, 1984.

26. Peter, M.S., and Timmerhaus, K.D. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. 4th ed. Singapore: Mc Graw Hill, 1991.

27. Fogler, H.S. Elements of Chemical Reaction Engineering. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1992.

28. Austin, G. T. Shreve's Chemical Process Industries. 5th ed. Singapore: Mc Graw Hill, 1984.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารละลาย

1. <u>สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.1 นอมัล หรือ 0.02 โมลาร์</u>

ชั่งโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3.3 กรัม เทลงในขวดรูปกรวยขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ผสมจนกระทั่งละลายหมด ปิดขวดหลวมๆ ตั้งทิ้งไว้ 2-3 วัน กรองผ่านสำลีแก้ว (Glass Wool) ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร เก็บไว้ในขวดแก้วทึบแสง เขย่าก่อนใช้

การทำมาตรฐานของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ชั่งโซเดียมออกซาเลต 0.2010 กรัม เทลงในขวดขวดรูปกรวยขนาด 300 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อน 150 มิลลิลิตร คนจนกระทั่งละลายหมด เติมกรดซัลฟิวริก 1:1 ปริมาตร15 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 90-95 องศาเซลเซียส ไตรเตรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมง-กาเนตที่เตรียมไว้ข้างต้น ปริมาตรของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ไตเตรตควรจะเป็น 30 มิลลิลิตร

2. <u>กรดไฮโดรคลอริก 6.34 นอมัล</u>

กรดไฮโดรคลอริกที่ใช้เข้มข้นร้อยละ 36-38 ความถ่วงจำเพาะ 1.18-1.19 น้ำหนักโมเลกุล 36.47

เติมน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร จำนวน 300 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริก 522 มิลลิลิตร เขย่าขณะเติม ตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

การทำมาตรฐานของกรดไฮโดรคลอริก 6.34 นอมัล

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนตแอนไฮดรัช 8.4 กรัม เทลงในขวดรูปกรวยขนาด 300 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรผสมจนละลายหมด เติมสารละลายเมทิลออเรนจ์ 2-3 หยดแล้วไตเตรตด้วยกรดที่เตรียมไว้ข้างต้น จุดยุติเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้ม ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ควรเท่ากับ 25 มิลลิลิตร

3. <u>สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นประมาณ 6 นอมัล</u>

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 240 กรัม อย่างรวดเร็วลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร ตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เทและล้างสารละลายจากบีกเกอร์

ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ตั้งให้เย็นอีกครั้ง เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร เก็บในขวดที่ทำจากพอลิเอทิลลีน

สารละลายฟีนอล์ฟธาลีน

ชั่งฟีนอล์ฟธาลีน 1 กรัม เทลงในขวดรูปกรวยขนาด 200 มิลลิลิตร เติมไอโซโพรพิล-แอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร ผสมจนละลาย สารละลายนี้จะเป็นกรดอ่อนต้องเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอมัลทีละหยดจนกระทั่งเป็นสีชมพูอ่อน จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 นอมัล 1 หยด เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

5. สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ซัลเฟต

ชั่งคิวปริกซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 69.5 กรัม เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณครึ่งหนึ่งผสมจนละลายหมด เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

การทำมาตรฐานของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

ปิเปตสารละลายน้ำตาลมาตรฐาน 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด เขย่าขณะเติม เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอมัลอย่างช้าๆ จนกระทั่งสารละลายเป็นสีชมพูอ่อน เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

ปิเปตสารละลายโพแทสเซียม โซเดียม ทาร์เทรต 5 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่เตรียมไว้ข้างต้น 5 มิลลิลิตร เขย่าแบบเป็นวง

ไขสารละลายมาตรฐานน้ำตาลที่เตรียมได้จากข้างต้นจากบิวเร็ต 24 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยที่มีสารละลายผสมระหว่างสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตกับสารละลายโพแทสเซียม โซเดียม ทาร์เทรต วางบนเตาปิดขวดด้วยแอสเบสทอสแผ่นบางๆ ให้ความร้อนจนเดือดและให้เดือดต่อไปอีก 2 นาที เติมเมทิลีนบลู 5 หยด สารละลายต้องเป็นสีน้ำเงินอย่างชัดเจน ไตเตรตขณะเดือดด้วยสารละลายน้ำตาลที่อยู่ในบิวเร็ตจนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป ปริมาณสารละลายมาตรฐานน้ำตาลที่ใช้ไตเตรตควรเท่ากับ 25.64

6. สารละลายมาตรฐานน้ำตาล

ชั่งน้ำตาล 9.5 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 100 มิลลิลิตร จนน้ำตาลละลายหมด เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6.34 นอร์มัลเขย่าเป็นวง ปิดฝาขวด

อย่างหลวมๆ ตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน สารละลายนี้เก็บได้ 3-4 เดือนโดยปิดฝาให้ดี

7. สารละลายโพแทสเซียม โซเดียม ทาร์เทรต

ชั่งโพแทสเซียม โซเดียม ทาร์เทรต 346 กรัมลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นประมาณ 350 มิลลิลิตรผสมจนละลายหมด

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 100 กรัมลงในอีกบีกเกอร์หนึ่ง เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร ผสมจนละลายหมด

นำสารละลายทั้งสองเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตร ผสม ตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

8. <u>สารละลายเมทิลีนบลู</u>

ชั่งเมทิลีนบลู 1 กรัม เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณครึ่งหนึ่ง เขย่าจนละลาย เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

9. <u>สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์</u>

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 กรัม เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่นประมาณครึ่งหนึ่ง เขย่าจนละลาย ตั้งทิ้งให้เย็น เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตรเขย่าให้เข้ากันอีกครั้งหนึ่ง

10. <u>สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 1 โมลาร์</u>

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 52.995 กรัม เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่นประมาณครึ่งหนึ่ง เขย่าจนละลาย เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตรเขย่าให้เข้ากันอีกครั้งหนึ่ง

ภาคผนวก ข

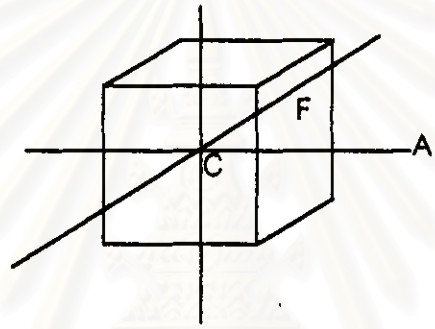
การออกแบบการทดลองแบบ บอกซ์ วิลสัน

การออกแบบการทดลองโดยวิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมกับการทดลองที่ปรับเปลี่ยนตัวแปร 3 ระดับ เพื่อลดจำนวนครั้งในการทดลอง เช่นการทดลองมี 3 ตัวแปร และในแต่ละตัวแปรมีการปรับเปลี่ยนค่า 3 ค่า ดังนั้นการทดลองทั้งหมดที่ต้องทำคือ $p^k = 3^3 = 27$ ครั้ง

เมื่อ p คือ จำนวนระดับของตัวแปร

k คือ จำนวนตัวแปร

แต่การออกแบบการทดลองวิธีนี้ช่วยให้การทดลองเหลือ 13 ครั้งดังนี้



RUN	A	B	C	
1	-1	-1	-1	F
2	-1	+1	+1	
3	+1	-1	+1	
4	+1	+1	-1	
5	0	0	0	C
6	0	0	0	
7	0	0	0	
8	α	0	0	A
9	$-\alpha$	0	0	
10	0	α	0	
11	0	$-\alpha$	0	
12	0	0	α	
13	0	0	$-\alpha$	

จากรูปเส้นตรงแต่ละเส้นที่ผ่านลูกบาศก์เปรียบเสมือนตัวแปร 1 ตัวแปร ตัวแปรในการทดลองนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

กลุ่ม 1 คือ กลุ่มที่ทำการทดลองในการปรับเปลี่ยนค่า 2 ระดับ (F) จำนวนครั้งของการทดลองเท่ากับ 2^{k-1}

กลุ่ม 2 คือ กลุ่มที่ทดลองที่ค่ากลางของทุกตัวแปร จำนวนครั้งของการทดลองเท่ากับ

$$n_c = 4\sqrt{n_F + 1} - 2k$$

กลุ่ม 3 คือ กลุ่มที่ทดลองห่างจากค่าของตัวแปรที่น้อยและมากที่สุด เท่ากับ α

$$\alpha = \left(n_F\right)^{1/4}$$

ตัวอย่างการคำนวณในงานวิจัยนี้ใช้ตัวแปรในงานทดลอง 3 ตัวแปร แต่ละตัวปรับเปลี่ยนค่า 3 ค่า ดังนั้น p = 3 และ k = 3

จำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ $3^3 = 27$ ครั้ง

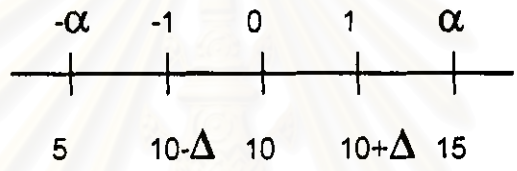
การคำนวณการออกแบบการทดลองจึงเป็นดังนี้

กลุ่มที่ 1 จำนวนครั้งในการทดลอง $n_F = 2^{3-1} = 4$

กลุ่มที่ 2 จำนวนครั้งในการทดลอง $n_c = 4\sqrt{4-1} - 2(3) = 2.9$ หรือเท่ากับ 3 ครั้ง

กลุ่มที่ 3 จำนวนครั้งในการทดลองเท่ากับ 6 ครั้ง ค่า $\alpha = (4)^{1/4} = 1.41 = 1.5$

ตัวอย่างเช่นการคำนวณการออกแบบปริมาณน้ำตาลจะปรับเปลี่ยนตัวแปร 3 ดังนี้ คือ ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 5 10 และ 15 วิธีการหาปริมาณน้ำตาลในตำแหน่ง α ทำได้ดังนี้

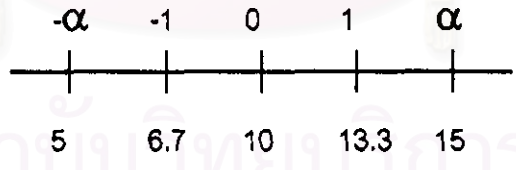


จากข้างต้น $\alpha = 1.5$

หาค่า Δ โดยการเทียบอัตราส่วนดังนี้ $\frac{15-10}{1.5} = \frac{\Delta}{1}$

$\Delta = 3.3$

ดังนั้นค่าที่ใช้ทดลองเป็นดังนี้



เมื่อทำครบทั้ง 3 ตัวแปรแล้วนำค่าต่างๆไปตั้งเป็นค่าการทดลองตามตารางข้างต้น

ภาคผนวก ค

ข้อมูลจากการทดลอง

ภาคผนวก ค 1 ข้อมูลจากการเอ็กซ์เรย์ตะกรันเพื่อหาองค์ประกอบของตะกรันจากหอกลั่นของโรงงานสุราบางยี่ขัน 2

GAUSSIAN DECONVOLUTION

SAMPLE: slag1

WINDOWS 1 : 1.49 - 4.30 kev

DECONVOLUTION BY INTEGRATION

SAMPLE: slag1

Integration windows

14	Si	1.640 - 1.840 kev
16	S	2.210 - 2.410 kev
17	Cl	2.520 - 2.720 kev
19	K	3.210 - 3.410 kev
20	Ca	3.590 - 3.790 kev

Element	Line	Intensity	Background	Inten/Back
Si	KA	3.54	0.010	354.0000
S	KA	140.29	0.010	********
Cl	KA	7.03	0.010	703.0001
K	KA	1.77	0.010	177.0000
Cu	KA	146.73	0.010	********

13 - Jul - 1997 10 : 40 04 slag1

Accelerating voltage	15.0 KeV
Beam - sample incidence angle	69.0 degrees
Xray emergence angle	52.2 degrees
Xray - window incidence angle	26.6 degrees

STANDARDLESS EDS ANALYSIS

(ZAF CORRECTIONS VIA MAGIC V)

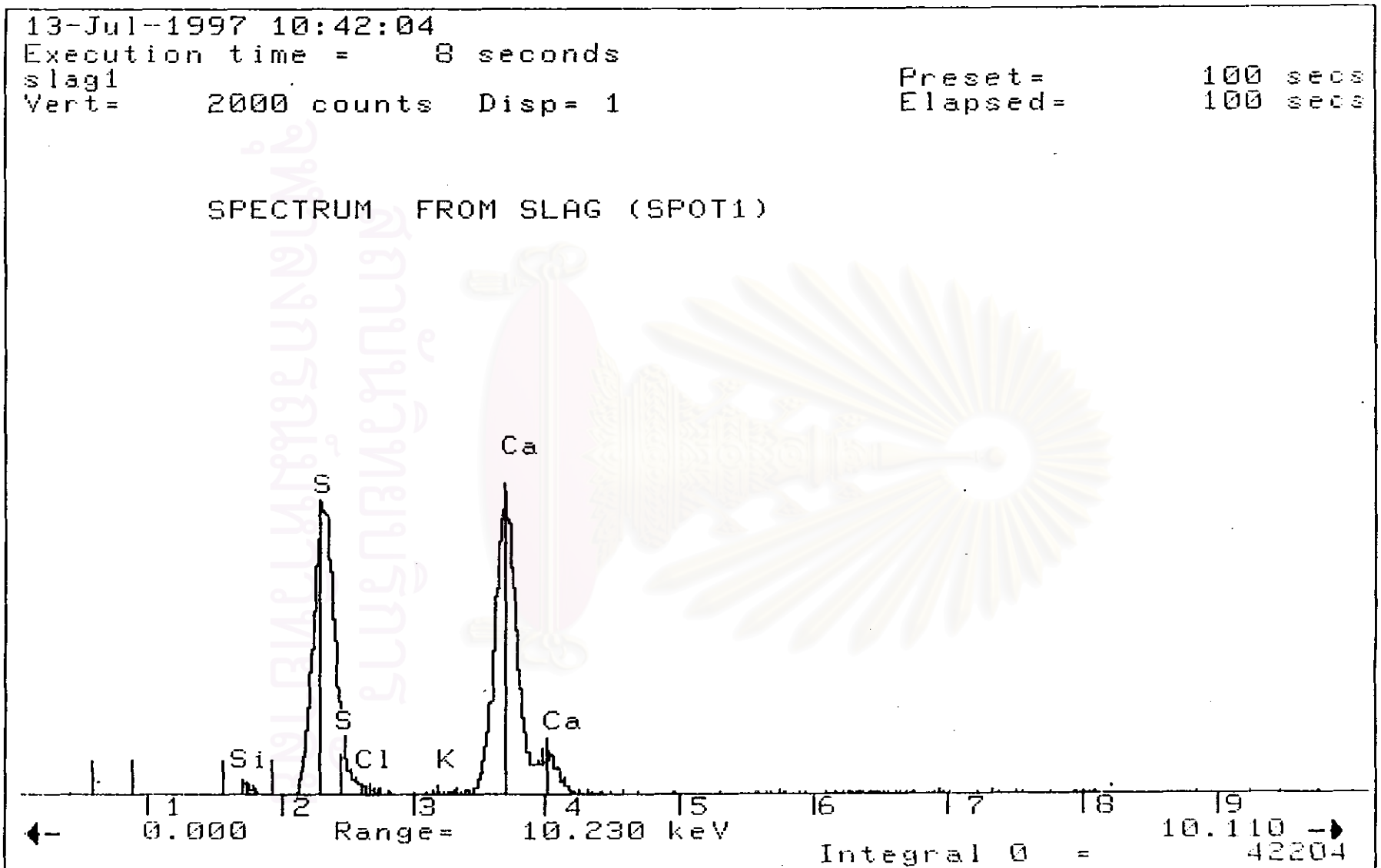
ELEMENT & LINE	WEIGHT PERCENT	ATOMIC PERCENT*	PRECISSION 2 SIGMA	K-RATIO**	ITER
Si KA	1.09	1.40	0.00	0.0105	
S KA	39.16	44.25	0.00	0.4072	
Cl KA	2.60	2.65	0.00	0.0225	
K KA	0.63	0.59	0.00	0.0063	
Ca KA	56.53	51.11	0.00	0.5535	3
TOTAL	100.01				

*NOTE: ATOMIC PERCENT is normalized to 100

**NOTE: K-RATIO = K-RATIO × R

where R = reference(standard)/reference(sample)

NORMALIZATION FACTOR: 0.949


13-Jul-1997 10:42:04
Execution time = 8 seconds
slag1
Vert= 2000 counts Disp= 1
Preset= 100 secs
Elapsed= 100 secs
SPECTRUM FROM SLAG (SPOT1)
Ca
S
S
Ca
Si
Cl
K
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0.000
Range= 10.230 keV
10.110
Integral 0 = 42204

GAUSSIAN DECONVOLUTION

SAMPLE: slag2

WINDOWS 1 : 2.04 - 4.30 kev

WINDOWS 2 : 6.05 - 7.40 kev

WINDOWS 3 : 7.65 - 9.35 kev

100 sec. acquisition time

Lines of interest	Intensity (cts/sec)	2 - sigma error (relative)	Standard spectrum	K-ratio
S KA	161.30	0.0084		
Cl KA	4.20	0.1023		
K KA	3.33	0.1204		
Ca KA	155.52	0.0081		
Fe KA	0.65	0.3922		
Cu KA	8.35	0.0422		
CHI-SQUARED:		0.9385		

13 - Jul - 1997 10 : 48 : 44 slag2

Accelerating voltage	15.0 KeV
Beam - sample incidence angle	69.0 degrees
Xray emergence angle	22.1 degrees
Xray - window incidence angle	26.6 degrees

STANDARDLESS EDS ANALYSIS

(ZAF CORRECTIONS VIA MAGIC V)

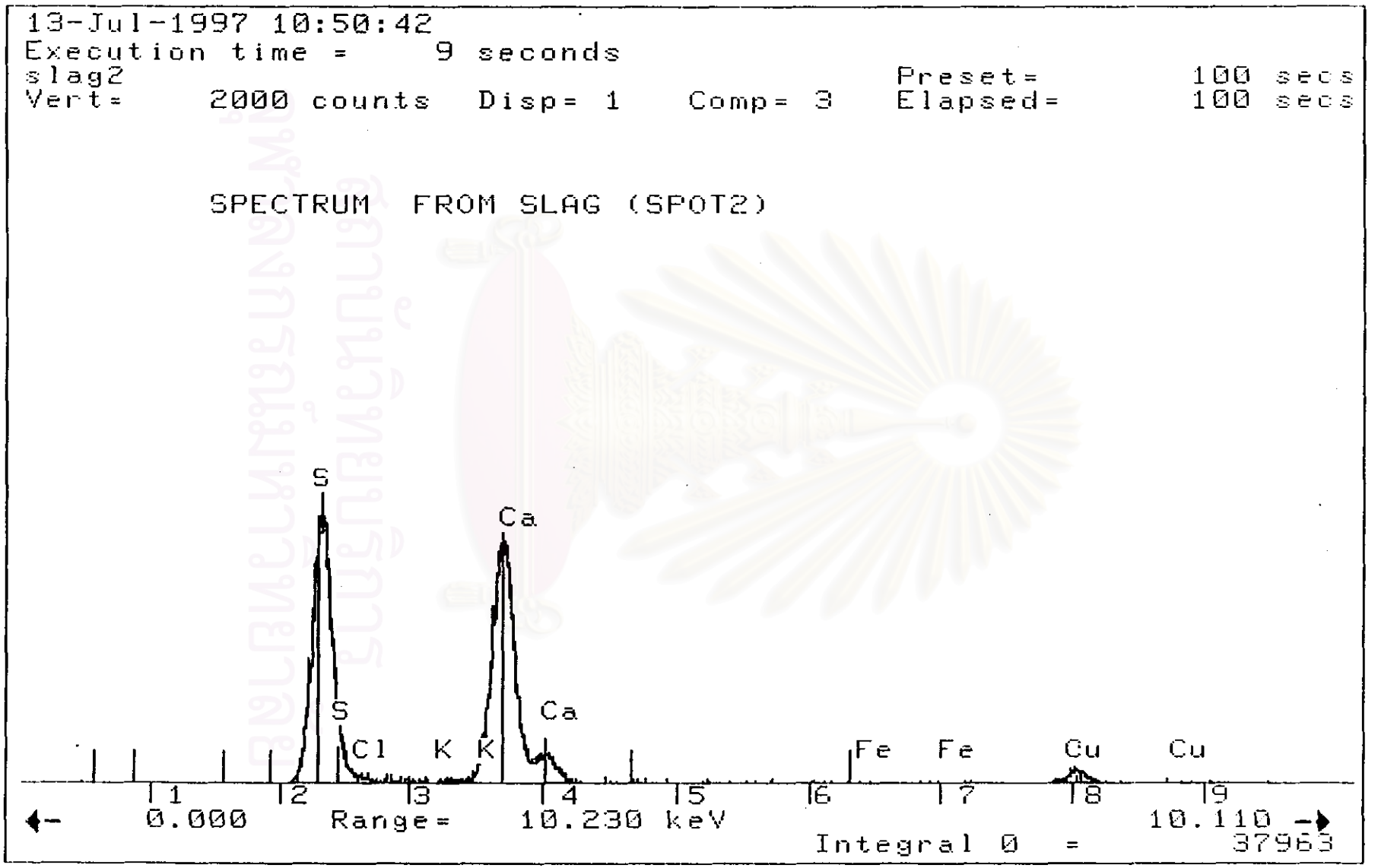
ELEMENT & LINE	WEIGHT PERCENT	ATOMIC PERCENT*	PRECISSION 2 SIGMA	K-RATIO**	ITER
S KA	37.53	44.84	0.31	0.3819	
Cl KA	1.39	1.50	0.11	0.0108	
K KA	0.98	0.96	0.09	0.0094	
Ca KA	46.53	44.47	0.37	0.4644	
Fe KA	0.48	0.33	0.07	0.0048	
Cu KA	13.09	7.89	0.49	0.1286	3
TOTAL	100.00				

*NOTE: ATOMIC PERCENT is normalized to 100

**NOTE: K-RATIO = K-RATIO × R

where R = reference(standard)/reference(sample)

NORMALIZATION FACTOR: 0.877


13-Jul-1997 10:50:42
Execution time = 9 seconds
slag2
Vert= 2000 counts Disp= 1 Comp= 3
Preset= 100 secs
Elapsed= 100 secs
SPECTRUM FROM SLAG (SPOT2)
S
S
Cl
K
K
Ca
Ca
Fe
Fe
Cu
Cu
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0.000
Range= 10.230 keV
10.110
Integral 0 = 37963

GAUSSIAN DECONVOLUTION

SAMPLE: slag3

WINDOWS 1 : 2.04 - 4.30 kev

WINDOWS 2 : 6.05 - 7.40 kev

WINDOWS 3 : 7.65 - 9.35 kev

100 sec. acquisition time

Lines of interest	Intensity (cts/sec)	2 - sigma error (relative)	Standard spectrum	K-ratio
S KA	146.86	0.0088		
Cl KA	6.43	0.0701		
K KA	2.49	0.1503		
Ca KA	164.62	0.0078		
Fe KA	2.00	0.1443		
Cu KA	4.18	0.0685		
CHI-SQUARED:		0.9611		

13 - Jul - 1997 10 : 55 : 01 slag3

Accelerating voltage	15.0 KeV
Beam - sample incidence angle	69.0 degrees
Xray emergence angle	22.1 degrees
Xray - window incidence angle	26.6 degrees

STANDARDLESS EDS ANALYSIS

(ZAF CORRECTIONS VIA MAGIC V)

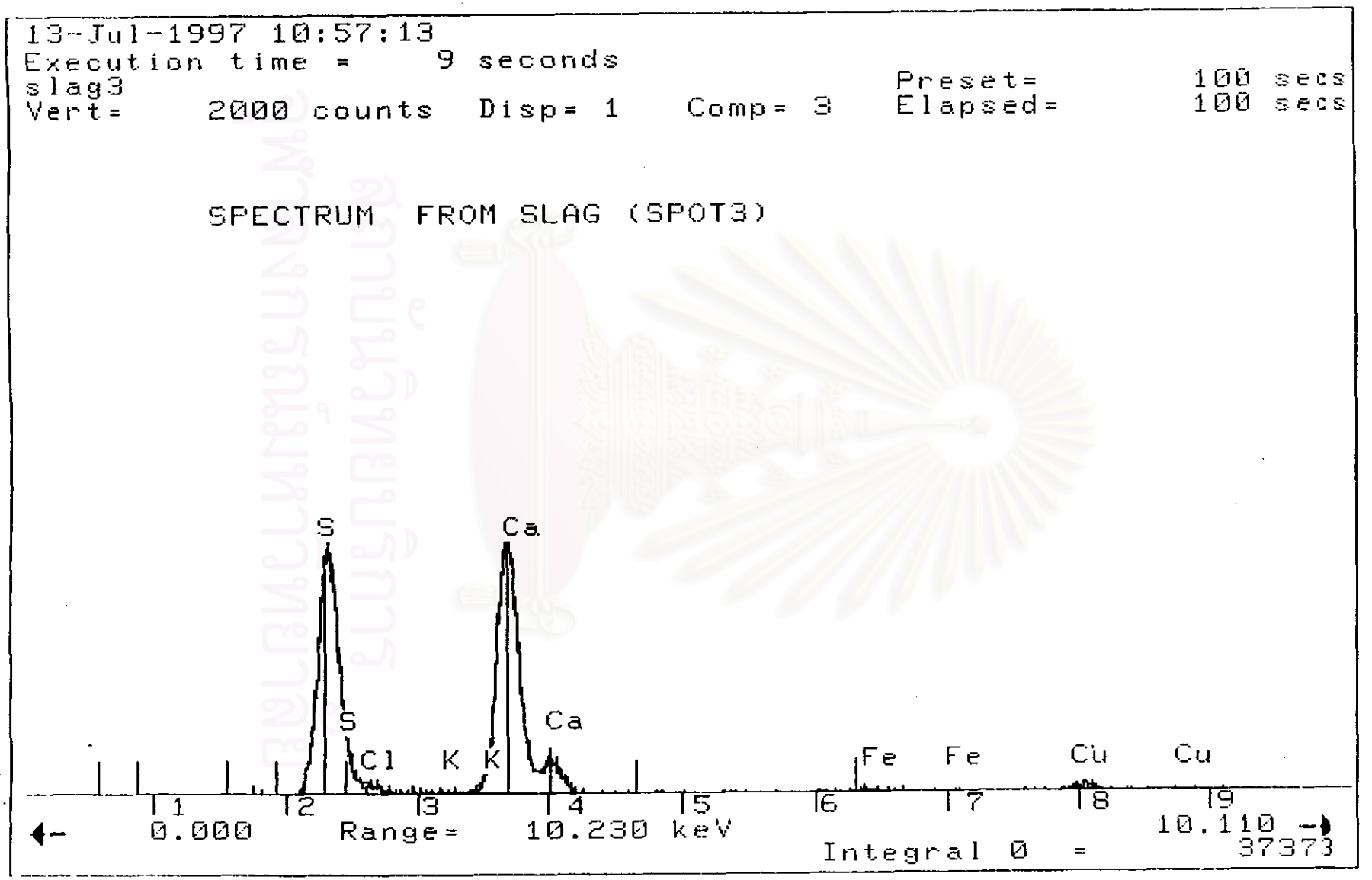
ELEMENT & LINE	WEIGHT PERCENT	ATOMIC PERCENT*	PRECISSION 2 SIGMA	K-RATIO**	ITER
S KA	35.78	42.12	0.31	0.3691	
Cl KA	2.23	2.37	0.14	0.0176	
K KA	0.77	0.75	0.08	0.0075	
Ca KA	52.51	49.46	0.41	0.5217	
Fe KA	1.62	1.09	0.16	0.0157	
Cu KA	7.09	4.21	0.39	0.0683	3
TOTAL	100.00				

*NOTE: ATOMIC PERCENT is normalized to 100

**NOTE: K-RATIO = K-RATIO × R

where R = reference(standard)/reference(sample)

NORMALIZATION FACTOR: 0.886


13-Jul-1997 10:57:13
Execution time = 9 seconds
slag3
Vert= 2000 counts Disp= 1 Comp= 3
Preset= 100 secs
Elapsed= 100 secs
SPECTRUM FROM SLAG (SPOT3)
S
Ca
S
Cl
K
K
Ca
Fe
Fe
Cu
Cu
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0.000
Range= 10.230 keV
10.110
Integral 0 = 37373

GAUSSIAN DECONVOLUTION

SAMPLE: slag4

WINDOWS 1 : 2.04 - 4.30 kev

WINDOWS 2 : 6.05 - 7.40 kev

WINDOWS 3 : 7.65 - 9.35 kev

100 sec. acquisition time

Lines of interest	Intensity (cts/sec)	2 - sigma error (relative)	Standard spectrum	K-ratio
S KA	140.78	0.0090		
Cl KA	9.96	0.0487		
K KA	3.02	0.1246		
Ca KA	145.73	0.0083		
Fe KA	3.51	0.0868		
Cu KA	0.93	0.2120		
CHI-SQUARED:		0.7600		

13 - Jul - 1997 11 : 04 : 43 slag4

Accelerating voltage	15.0 KeV
Beam - sample incidence angle	69.0 degrees
Xray emergence angle	22.1 degrees
Xray - window incidence angle	26.6 degrees

STANDARDLESS EDS ANALYSIS

(ZAF CORRECTIONS VIA MAGIC V)

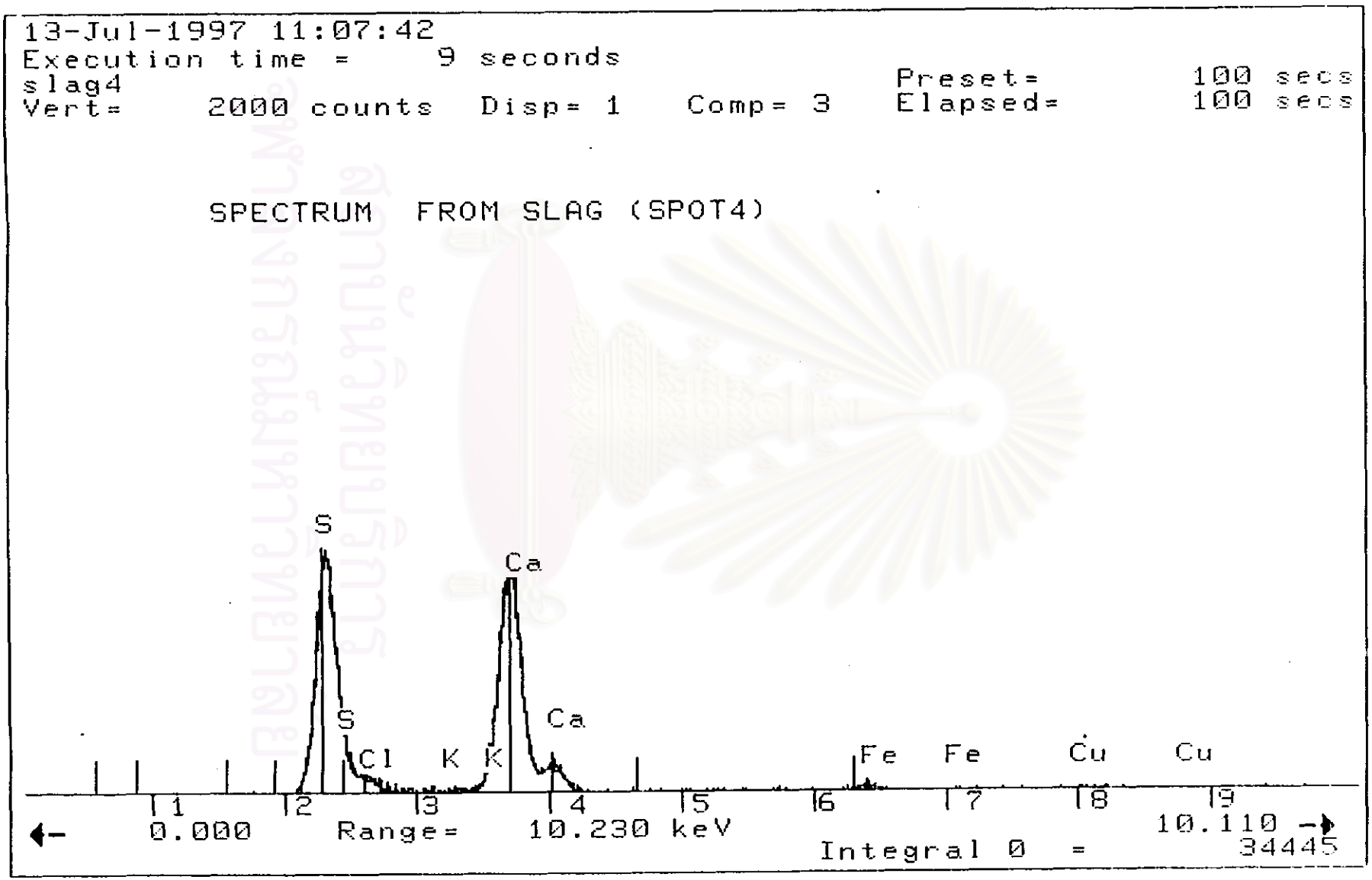
ELEMENT & LINE	WEIGHT PERCENT	ATOMIC PERCENT*	PRECISSION 2 SIGMA	K-RATIO**	ITER
S KA	37.49	43.25	0.34	0.3954	
Cl KA	3.87	4.04	0.17	0.0305	
K KA	1.06	1.00	0.10	0.0101	
Ca KA	52.59	48.54	0.43	0.5162	
Fe KA	3.21	2.13	0.22	0.0307	
Cu KA	1.78	1.04	0.18	0.0170	3
TOTAL	100.00				

*NOTE: ATOMIC PERCENT is normalized to 100

**NOTE: K-RATIO = K-RATIO × R

where R = reference(standard)/reference(sample)

NORMALIZATION FACTOR: 0.888


13-Jul-1997 11:07:42
Execution time = 9 seconds
slag4
Vert= 2000 counts Disp= 1 Comp= 3
Preset= 100 secs
Elapsed= 100 secs
SPECTRUM FROM SLAG (SPOT4)
S
Ca
S
Cl
K
K
Ca
Fe
Fe
Cu
Cu
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0.000
Range= 10.230 keV
10.110
Integral 0 = 34445

ตารางภาคผนวก ค 2 ข้อมูลการทดลองการกำจัดแคลเซียมโดยการเหวี่ยงแยกที่ ปริมาณน้ำตาล ความเร็วในการเหวี่ยง และเวลาในการเหวี่ยงต่างๆ กัน

ความเข้มข้นโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเท่ากับ 0.0196 โมลาร์

ครั้งที่	ปริมาณน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์)	ความเร็วการเหวี่ยง (รอบต่อนาที)	เวลาการเหวี่ยง (นาที)	น้ำหนักกากน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณ $KMnO_4$ (มิลลิลิตร)	ปริมาณแคลเซียม (ppm)	ปริมาณแคลเซียมที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
1	13.3	0	0	10.1025	14.8	2877.11	-
2	13.3	1750	5	10.0644	12.8	2497.73	13.19
3	13.3	2750	13	10.1435	12.4	2400.81	16.55
4	34.7	0	0	10.0921	39.8	7745.07	-
5	34.7	1750	13	10.0238	34.8	6818.21	11.97
6	34.7	0	0	10.1121	39.5	7671.49	-
7	34.7	2750	5	10.0076	32.0	6279.77	18.92
8	24.0	0	0	10.0489	25.5	4983.77	7.11
9	24.0	2250	9	10.1816	24.0	4629.34	7.54
10	24.0	2250	9	10.1433	23.8	4608.10	6.63
11	24.0	0	0	10.0241	25.7	5035.14	-
12	24.0	2250	9	10.0674	24.1	4701.36	10.28
13	40.0	0	0	10.0643	44.5	8683.36	-
14	40.0	2250	9	10.0832	40.0	7790.86	2.28
15	8.0	0	0	10.1751	9.2	1775.71	-
16	8.0	2250	9	10.0734	8.9	1735.15	9.64
17	24.0	0	0	10.1377	25.7	4978.72	5.56
18	24.0	3000	9	10.0402	23.0	4498.93	-
19	24.0	1500	9	10.1499	24.3	4701.84	6.70
20	24.0	0	0	10.0258	25.6	5014.70	7.34
21	24.0	2250	15	10.0746	24.0	4678.51	-
22	24.0	2250	3	10.0172	23.7	4646.50	16.15
23	13.3	0	0	10.1413	14.9	2885.47	17.04
24	13.3	1750	5	10.0857	12.1	2419.37	14.86
25	13.3	0	0	10.1228	14.9	2890.74	21.13
26	13.3	2750	13	10.0725	12.3	2398.74	-
27	34.7	0	0	10.0575	39.8	7771.71	7.31
28	34.7	1750	13	10.0910	34.0	6617.11	14.86
29	34.7	2750	5	10.0292	31.3	6129.17	21.13
30	24.0	0	0	10.1145	25.5	4951.30	-
31	24.0	2250	9	10.0133	23.4	4589.47	7.31

ตารางภาคผนวก ค 2 (ต่อ)

ครั้งที่	ปริมาณน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์)	ความเร็วการเหวี่ยง (รอบต่อนาที)	เวลาการเหวี่ยง (นาที)	น้ำหนักกากน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณ $KMnO_4$ (มิลลิลิตร)	ปริมาณแคลเซียม (ppm)	ปริมาณแคลเซียมที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
32	24.0	2250	9	10.1470	23.5	4548.35	8.14
33	24.0	2250	9	10.0061	23.4	4592.77	7.24
34	40.0	0	0	10.0236	44.3	8679.68	-
35	40.0	2250	9	10.0228	40.4	7916.19	8.80
36	8.0	0	0	10.1316	9.3	1802.72	-
37	8.0	2250	9	9.9598	8.8	1735.23	3.74
38	24.0	0	0	10.0077	25.3	4964.89	-
39	24.0	3000	9	10.0405	23.0	4498.98	9.39
40	24.0	1500	9	10.1480	24.5	4741.43	4.50
41	24.0	2250	15	10.0726	23.8	4640.44	6.53
42	24.0	2250	3	10.1268	24.2	4693.18	5.47

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค 3 ข้อมูลการทดลองเติมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และเหวี่ยงแยกเพื่อกำจัดแคลเซียมในกากน้ำตาลที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างกัน

ปริมาณน้ำตาลในกากน้ำตาล	13.3	เปอร์เซ็นต์
ปริมาณกากน้ำตาล	50	มิลลิลิตร
ความเร็วในการเหวี่ยง	1500	รอบต่อนาที
เวลาในการเหวี่ยงแยก	5	นาที
ความเข้มข้นโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	0.0195	โมลาร์

ครั้งที่	ปริมาณ NaOH เข้มข้น 1 M (มิลลิลิตร)	ค่าความเป็นกรด-เบส	น้ำหนักกากน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณ $KMnO_4$ (มิลลิลิตร)	ปริมาณแคลเซียม (ppm)	ปริมาณแคลเซียมที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
1	0	5.23	10.1341	14.8	2868.14	-
2	2.5	8.42	10.0236	13.7	2684.24	6.41
3	5	9.42	10.0432	13.0	2542.11	11.73
4	7.5	10.50	10.1105	11.8	2292.10	20.08
5	10	10.98	9.9930	11.3	2220.78	22.57
6	0	5.23	10.0784	14.6	2845.02	-
7	15	11.61	10.0942	10.2	1984.50	30.25
8	20	11.98	10.0472	9.3	1817.87	36.10
9	25	12.20	10.0655	9.3	1814.56	36.22
10	30	12.43	10.0147	9.1	1784.54	37.27
11	0	5.25	10.1247	14.8	2870.80	-
12	2.5	8.40	10.1434	13.8	2671.89	6.9
13	5	9.43	10.0751	13.0	2534.06	11.73
14	7.5	10.20	10.0655	11.6	2263.32	21.16
15	10	10.90	10.1271	11.4	2210.77	22.99
16	0	5.24	10.0903	14.6	2841.66	-
17	15	11.50	10.0484	10.0	1954.46	31.22
18	20	12.00	9.9867	9.2	1809.21	36.33
19	25	12.40	10.0376	9.3	1819.60	35.97
20	30	12.42	10.1156	9.2	1786.25	37.14

ตารางภาคผนวก ค 4 ข้อมูลการทดลองเติมสารโซเดียมคาร์บอเนตและเหวี่ยงแยกเพื่อกำจัดแคลเซียมในกากน้ำตาลที่ปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตต่างกัน

ความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนต	1	โมลาร์
ปริมาณน้ำตาลในกากน้ำตาล	13.3	เปอร์เซ็นต์
ปริมาณกากน้ำตาล	50	มิลลิลิตร
ความเร็วในการเหวี่ยง	1500	รอบต่อนาที
เวลาในการเหวี่ยงแยก	5	นาที
ความเข้มข้นโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	0.0195	โมลาร์

ครั้งที่	ปริมาณ Na_2CO_3 เข้มข้น1 M (มิลลิลิตร)	ค่าความเป็นกรด-เบส	น้ำหนักกากน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณ $KMnO_4$ (มิลลิลิตร)	ปริมาณแคลเซียม (ppm)	ปริมาณแคลเซียมที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
1	0	5.28	10.1523	14.9	2882.34	-
2	5	7.91	10.1911	11.8	2273.97	11.8
3	10	9.25	10.0466	2.2	430.06	2.2
4	15	9.95	10.0940	1.0	194.56	1.0
5	20	10.15	10.1317	0.8	155.07	0.8
6	0	5.27	10.0378	14.8	2895.66	14.8
7	25	10.21	10.0504	0.7	136.79	0.7
8	0	5.27	10.0447	14.9	2913.21	-
9	5	7.80	10.1211	11.7	2270.29	22.06
10	10	9.24	10.1506	2.2	432.12	85.16
11	15	10.00	9.9987	0.9	176.78	93.93
12	20	10.10	10.0020	0.9	176.72	93.93
13	0	5.24	10.1157	14.9	2892.78	-
14	25	10.40	10.0348	0.7	136.40	95.26
15	30	10.00	10.0025	0.6	117.81	95.93

ตารางภาคผนวก ค 5 ข้อมูลการทดลองเติมโซเดียมและเหวี่ยงแยกเพื่อกำจัดแคลเซียมในกากน้ำตาลที่ ปริมาณโซเดียมคาร์บอเนต ความเร็วในการเหวี่ยง และเวลาในการเหวี่ยงต่างๆ กัน

ปริมาณน้ำตาลในกากน้ำตาล	13.3	เปอร์เซ็นต์
ปริมาณกากน้ำตาล	50	มิลลิลิตร
ความเข้มข้นโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	0.0196	โมลาร์

ครั้งที่	ปริมาณ Na_2CO_3 เข้มข้น 1 M (มิลลิลิตร)	ค่าความเป็นกรด-เบส	ความเร็วการเหวี่ยง (รอบต่อนาที)	เวลาการเหวี่ยง (นาที)	น้ำหนักกากน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณ $KMnO_4$ (มิลลิลิตร)	ปริมาณแคลเซียม (ppm)	ปริมาณแคลเซียมที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
1	0	5.28	0	0	10.0310	15.0	2936.78	-
2	6.7	8.90	1750	5	10.1548	6.6	1276.43	56.54
3	6.7	8.93	2750	13	10.1453	4.8	929.18	68.36
4	13.3	9.90	1750	13	10.0721	1.4	272.98	90.70
5	13.3	9.91	2750	5	10.0794	1.4	272.98	90.70
6	0	5.28	0	0	10.1489	15.1	2922.01	-
7	10.0	9.26	2250	9	10.2414	2.2	421.88	85.56
8	10.0	9.26	2250	9	10.1391	2.1	406.77	86.08
9	10.0	9.26	2250	9	10.0655	2.1	409.74	85.98
10	15.0	9.95	2250	9	10.0632	1.2	234.19	91.98
11	0	5.27	0	0	10.0360	14.8	2896.18	-
12	5.0	8.13	2250	9	10.0433	11.6	2268.33	21.68
13	10.0	8.26	3000	9	10.0473	2.6	508.22	82.45
14	10.0	9.26	1500	9	10.1840	2.8	539.96	81.35
15	10.0	9.24	2250	15	10.0034	2.3	451.55	84.41
16	0	5.27	0	0	10.0768	14.8	2881.45	-
17	10.0	9.24	2250	3	10.1899	2.8	539.65	81.29
18	6.7	8.90	1750	5	10.1310	6.1	1182.50	59.00
19	6.7	8.92	2750	13	10.1870	4.9	994.66	67.25
20	13.3	9.90	1750	13	10.0418	1.4	273.80	90.51
21	0	5.25	0	0	10.0692	14.7	2867.12	-
22	13.3	9.90	2750	5	10.1702	1.1	212.42	92.59
23	10.0	9.26	2250	9	10.1467	1.9	367.75	87.17
24	10.0	9.24	2250	9	10.0678	1.6	312.11	89.11
25	10.0	9.24	2250	9	10.1906	2.0	385.44	86.56
26	0	9.25	0	0	10.1798	14.8	2855.26	-

ตารางภาคผนวก ค 5 (ต่อ)

ครั้งที่	ปริมาณ Na_2CO_3 เข้มข้น 1 M (มิลลิลิตร)	ค่าความเป็นกรด-เบส	ความเร็วการเหวี่ยง (รอบต่อนาที)	เวลาการเหวี่ยง (นาที)	น้ำหนักกากน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณ $KMnO_4$ (มิลลิลิตร)	ปริมาณแคลเซียม (ppm)	ปริมาณแคลเซียมที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
27	15.0	9.95	2250	9	10.0162	0.9	176.47	93.82
28	5.0	8.13	2250	9	10.0656	11.3	2204.77	22.78
29	10.0	9.26	3000	9	10.0901	2.3	447.67	84.32
30	10.0	9.24	1500	9	10.1406	2.7	522.91	81.69
31	0	5.28	0	0	10.0085	14.5	2845.27	-
32	10.0	9.24	2250	15	10.0289	2.3	450.40	84.17
33	10.0	8.89	2250	3	10.1202	2.8	543.37	80.90
34	6.7	8.92	1750	5	10.0211	6.5	1273.86	55.22
35	6.7	5.28	2750	13	10.0338	4.3	841.64	70.42
36	0	9.87	0	0	10.0112	14.8	2903.35	-
37	13.3	9.87	1750	13	10.2016	1.8	346.52	88.06
38	13.3	9.90	2750	5	10.1064	1.1	213.76	92.64
39	10.0	9.24	2250	9	1.01294	1.7	329.60	88.65
40	10.0	9.24	2250	9	10.2092	1.9	365.50	87.41
41	0	5.28	0	0	10.1570	14.8	2861.67	-
42	10.0	9.24	2250	9	10.1753	2.2	424.62	85.16
43	15.0	9.95	2250	9	10.0155	1.0	196.09	93.15
44	5.0	8.16	2250	9	10.1561	11.6	2243.13	21.61
45	10.0	9.24	3000	9	10.0473	2.6	508.22	82.24
46	0	5.27	0	0	10.1714	14.9	2872.41	-
47	10.0	9.24	1500	9	10.1477	2.8	541.89	81.13
48	10.0	9.24	2250	15	10.0362	2.8	430.50	85.01
49	10.0	9.24	2250	3	10.0904	2.6	506.04	82.38

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค 6 ข้อมูลการทดลองกำจัดแคลเซียมโดยใช้เรซินปริมาณ 100 มิลลิลิตร

ความสูงเรซิน	12.4	เซนติเมตร
อัตราการไหลของกากน้ำตาล	30	มิลลิลิตรต่อนาที

ครั้งที่	เวลาหลังกากน้ำตาลผ่านเรซิน (นาที)	น้ำหนักกากน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณ $KMnO_4$ (มิลลิลิตร)	ปริมาณแคลเซียม (ppm)	ปริมาณแคลเซียมที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
1	ก่อน	9.9993	14.7	2931.36	-
2	5	10.1443	0.8	157.25	94.64
3	10	10.0084	0.5	99.62	96.60
4	15	10.0024	0.6	119.61	95.92
5	20	10.1477	0.9	176.85	93.97
6	ก่อน	10.1134	14.6	2876.57	-
7	5	10.0573	0.8	158.61	94.49
8	10	10.1098	0.8	157.79	94.52
9	15	10.0043	0.7	139.52	95.15
10	20	10.0744	0.6	118.76	95.87

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค 7 ข้อมูลการทดลองกำจัดแคลเซียมโดยใช้เรซินปริมาณ 200 มิลลิลิตร

ความสูงเรซิน	24.8	เซนติเมตร
อัตราการไหลของกากน้ำตาล	30	มิลลิลิตรต่อนาที

ครั้งที่	เวลาหลังกากน้ำตาลผ่านเรซิน (นาที)	น้ำหนักกากน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณ $KMnO_4$ (มิลลิลิตร)	ปริมาณแคลเซียม (ppm)	ปริมาณแคลเซียมที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
1	ก่อน	10.0247	14.5	2884.15	-
2	5	10.0716	1.0	197.98	93.14
3	10	10.0128	0.7	139.40	95.17
4	15	10.0133	0.5	99.57	96.55
5	20	10.0371	0.6	119.20	95.87
6	ก่อน	10.0011	14.3	2851.08	-
7	5	10.0578	0.8	158.60	97.28
8	10	10.0210	0.7	139.29	96.60
9	15	9.9981	0.7	139.61	96.61
10	20	10.0176	0.5	99.52	97.28

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค 8 ข้อมูลการทดลองกำจัดแคลเซียมโดยใช้เรซินปริมาณ 300 มิลลิลิตร

ความสูงเรซิน	37.3	เซนติเมตร
อัตราการไหลของกากน้ำตาล	30	มิลลิลิตรต่อนาที

ครั้งที่	เวลาหลังกากน้ำตาลผ่านเรซิน (นาที)	น้ำหนักกากน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณ $KMnO_4$ (มิลลิลิตร)	ปริมาณแคลเซียม (ppm)	ปริมาณแคลเซียมที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
1	ก่อน	10.0520	14.6	2896.15	-
2	5	10.0095	0.7	139.45	95.19
3	10	10.0103	0.5	99.60	96.56
4	15	10.0176	0.4	79.62	97.25
5	20	10.0043	0.5	99.52	96.56
6	ก่อน	10.0076	14.5	2889.08	-
7	5	10.0250	0.6	119.34	95.87
8	10	10.0199	0.5	99.50	96.56
9	15	10.0354	0.5	99.35	96.56
10	20	10.0182	0.4	79.61	97.24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค 9 ข้อมูลการทดลองกำจัดแคลเซียมโดยใช้เรซินปริมาณ 400 มิลลิลิตร

ความสูงเรซิน 49.7 เซนติเมตร

อัตราการไหลของกากน้ำตาล 30 มิลลิลิตรต่อนาที

ครั้งที่	เวลาหลังกากน้ำตาลผ่านเรซิน (นาที)	น้ำหนักกากน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณ $KMnO_4$ (มิลลิลิตร)	ปริมาณแคลเซียม (ppm)	ปริมาณแคลเซียมที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
1	ก่อน	10.0297	14.4	2862.80	-
2	5	10.0716	0.5	98.99	96.54
3	10	10.0128	0.4	79.66	97.22
4	15	10.0133	0.4	79.65	97.22
5	20	10.0371	0.5	99.33	96.53
6	ก่อน	10.0012	14.7	2930.80	-
7	5	9.9899	0.4	79.84	97.28
8	10	10.0166	0.5	99.53	96.60
9	15	10.0249	0.5	99.45	96.61
10	20	10.0059	0.4	79.71	97.28

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค 10 ข้อมูลการทดลองกำจัดแคลเซียมโดยใช้เรซินปริมาณ 500 มิลลิลิตร

ความสูงเรซิน 62.2 เซนติเมตร

อัตราการไหลของกากน้ำตาล 30 มิลลิลิตรต่อนาที

ครั้งที่	เวลาหลังกากน้ำตาลผ่านเรซิน (นาที)	น้ำหนักกากน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณ $KMnO_4$ (มิลลิลิตร)	ปริมาณแคลเซียม (ppm)	ปริมาณแคลเซียมที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
1	ก่อน	10.1864	14.7	2877.51	-
2	5	10.1006	0.5	98.71	96.57
3	10	10.1513	0.4	78.57	97.27
4	15	9.9215	0.4	80.39	97.21
5	20	10.0339	0.4	79.49	97.24
6	ก่อน	10.1150	14.8	2917.54	-
7	5	10.0278	0.4	79.54	97.27
8	10	10.0196	0.5	99.50	96.59
9	15	10.0355	0.5	99.35	96.59
10	20	10.0048	0.4	79.72	97.27

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค 11 ข้อมูลการทดลองหาปริมาณน้ำตาลเมื่อกำจัดแคลเซียมโดยใช้เรซิน
สารละลายน้ำตาลทั้งหมดที่ผ่านเรซิน 1000 กรัม
อัตราการไหลของกากน้ำตาล 30 มิลลิลิตรต่อนาที

ปริมาตรเรซิน (มิลลิลิตร)	ความสูงเรซิน (เซนติเมตร)	ครั้งที่	น้ำหนักกากน้ำตาลที่ใช้ในการหาน้ำตาล (กรัม)		ปริมาตรไทแทรนต์ (มิลลิลิตร)		ปริมาณน้ำตาล (กรัม)		ปริมาณน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์)	
			ก่อนผ่านเรซิน	หลังผ่านเรซิน	ก่อนผ่านเรซิน	หลังผ่านเรซิน	ก่อนผ่านเรซิน	หลังผ่านเรซิน	ก่อนผ่านเรซิน	หลังผ่านเรซิน
100	12.4	1	15.0195	15.0025	51.8	56.9	131.9	120.4	13.19	12.04
		2	15.0472	15.0739	51.7	56.7	132.0	120.2	13.20	12.02
200	24.8	1	15.0377	15.0044	51.5	61.6	129.4	111.3	12.94	11.13
		2	15.0025	15.0170	51.7	60.0	132.4	114.1	13.24	11.41
300	37.3	1	15.0412	15.0445	53.5	65.0	127.6	105.2	12.76	10.52
		2	15.0187	15.0218	53.0	65.3	129.0	104.8	12.90	10.48
400	49.7	1	15.0356	15.0072	52.7	68.8	129.5	99.7	12.95	9.97
		2	15.0141	15.0189	52.5	71.5	130.4	95.6	13.04	9.56
500	62.2	1	15.0032	15.0147	52.5	115.2	130.4	58.1	13.04	5.81
		2	15.0290	15.0227	52.8	115.4	129.5	58.0	12.95	5.80

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค 12 ข้อมูลการทดลองหาอายุการใช้งานของเรซินที่ใช้งานกับกากน้ำตาล

ปริมาณเรซิน	100	มิลลิลิตร
ความสูงเรซิน	12.4	เซนติเมตร
อัตราการไหลของกากน้ำตาล	30	มิลลิลิตรต่อนาที

ครั้งที่	เวลาหลังกากน้ำตาลผ่านเรซิน (นาที)	น้ำหนักกากน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณ $KMnO_4$ (มิลลิลิตร)	ปริมาณแคลเซียม (ppm)	ปริมาณแคลเซียมที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
1	ก่อน	10.0985	14.5	2863.07	-
	5	10.0819	0.5	98.89	96.55
	15	10.0356	0.8	158.95	94.45
	30	10.1290	3.3	649.63	77.31
	45	10.0108	5.4	1075.59	62.43
	60	10.1096	10.7	2110.43	26.29
	75	10.0635	13.7	2714.52	5.19
	90	10.0928	14.3	2825.17	1.32
	105	10.0329	14.3	2842.04	0.73
2	ก่อน	9.9984	14.4	2871.79	-
	5	10.1342	0.6	118.05	95.88
	15	10.0788	0.8	158.28	94.49
	30	10.0205	3.1	616.87	78.52
	45	10.1130	5.6	1104.15	61.55
	60	9.9895	10.7	2135.80	25.63
	75	10.1256	13.8	2697.87	6.01
	90	10.0094	14.1	2808.87	2.19
	105	10.0572	14.2	2815.35	1.97

ภาคผนวก ง

การคำนวณ

ภาคผนวก ง 1 การคำนวณหาปริมาณแคลเซียมจากการไตเตรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ตัวอย่างการคำนวณ

จากภาคผนวก ค2 การทดลองครั้งที่ 1

น้ำหนักกากน้ำตาล	10.1025	กรัม
ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	14.8	มิลลิลิตร
ความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	0.0196	โมลาร์

จากสมการ

$$Ca^{2+} + C_2O_4^{2-} \longrightarrow CaC_2O_4$$

$$CaC_2O_4 + 2H^{+} \longrightarrow H_2C_2O_4 + Ca^{2+}$$

$$5H_2C_2O_4 + 2MnO_4^{-} + 6H^{+} \longrightarrow 10CO_2 + 2Mn^{2+} + 8H_2O$$

$$\text{อัตราส่วน} = \frac{5 \text{ mmol } H_2C_2O_4}{2 \text{ mmol } KMnO_4}$$

$$\text{ปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต} = 14.8 \text{ ml } KMnO_4 \times \frac{0.0196 \text{ mmol } KMnO_4}{\text{ml } KMnO_4}$$

$$\text{ปริมาณ } H_2C_2O_4 = (14.8 \times 0.0196) \text{ mmol } KMnO_4 \times \frac{5 \text{ mmol } H_2C_2O_4}{2 \text{ mmol } KMnO_4} = 0.7252 \text{ mmol}$$

จากสมการข้างต้น 1 mmol $H_2C_2O_4$= 1 mmol Ca^{2+}

ดังนั้นปริมาณแคลเซียม = 0.7252 mmol

น้ำหนักของแคลเซียมหาได้ดังนี้

$$\text{น้ำหนักแคลเซียม} = 0.7252 \text{ mmol Ca} \times \frac{0.04008 \text{ g Ca}}{\text{mmol Ca}}$$

$$\text{ปริมาณแคลเซียม} = \left(\frac{0.7252 \times 0.04008 \text{ mmol Ca}}{10.1025 \text{ g sample}} \right) \times 100\ \% = 0.2877\ \% = 2877.11 \text{ ppm}$$

ภาคผนวก ง 2 การคำนวณหาปริมาณน้ำตาล

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในงานวิจัยนี้

น้ำหนักกากน้ำตาล	15.0158	กรัม
ปริมาตรไทแทรนต์	25.2	มิลลิลิตร

จากสมการ

$$\text{Total sugars as invert} = \frac{\text{milligrams reducing substances} \times 10}{\text{titration} \times \text{g molasses in 100 ml solution}}$$

จากสมการข้างต้นจำนวนน้ำหนักของกากน้ำตาลในสารละลาย 100 มิลลิลิตรหาได้ดังนี้

1. ในขั้นตอนแรกต้องเจือจางกากน้ำตาลในอัตราส่วน 1:1 ดังนั้นในสารละลายกากน้ำตาล 15.0158 กรัม มีกากน้ำตาลเริ่มต้น $= \frac{15.0158}{2} = 7.5079$ กรัม
2. นำมาทำให้มีปริมาตร 500 มิลลิลิตร ดังนั้นมีกากน้ำตาล 7.5079 กรัม
3. ปิเปตสารละลายกากน้ำตาลจากข้อ 2 มา 50 มิลลิลิตร มีกากน้ำตาล 0.7508 กรัม
4. นำสารละลายกากน้ำตาลจากข้อ 3 ทำปริมาตรให้ได้ 200 มิลลิลิตร ดังนั้นในสารละลายกากน้ำตาล 200 มิลลิลิตร มีกากน้ำตาล 0.7508
5. จากข้อ 4 ในสารละลายกากน้ำตาล 100 กรัม จะมีกากน้ำตาล $= \frac{0.7508}{2} = 0.3754$ กรัม

นำปริมาณกากน้ำตาลในสารละลาย 100 กรัม หาจำนวนมิลลิกรัมของสารรีดิวซิงได้จากตารางภาคผนวก ง 3

จากปริมาณกากน้ำตาล 0.3754 ปริมาณไทแทรนต์ 25.2 มิลลิลิตร มีค่า สารรีดิวซิงเท่ากับ 50.92

ดังนั้นปริมาณน้ำตาลทั้งหมด $= \frac{50.92 \times 10}{25.2 \times 0.3754}$

$= 53.83\ \%$

ตารางภาคผนวก ง 3 สารรีดิวซิงโดยวิธีของ Lane และ Eynon

Titer	Sucrose present per 100 ml of sugar Solution (g)								
(ml)	0	0.5	1	2	3	4	5	10	25
	Reducing Substances (mg) for 5 ml Standard Copper Solution								
15	50.5	50.2	49.9	49.4	48.8	48.3	47.6	46.1	43.4
16	50.6	50.3	50.0	49.4	48.8	48.3	47.6	46.1	43.4
17	50.7	50.4	50.1	49.4	48.8	48.3	47.6	46.1	43.4
18	50.8	50.4	50.1	49.4	48.8	48.3	47.6	46.1	43.3
19	50.8	50.4	50.2	49.5	48.9	48.3	47.6	46.1	43.3
20	50.9	50.5	50.2	49.5	48.9	48.3	47.6	46.1	43.2
21	51.0	50.6	50.2	49.5	48.9	48.3	47.6	46.1	43.2
22	51.0	50.6	50.3	49.5	48.9	48.4	47.6	46.1	43.1
23	51.1	50.7	50.3	49.6	49.0	48.4	47.6	46.1	43.0
24	51.2	50.7	50.3	49.6	49.0	48.4	47.6	46.1	42.9
25	51.2	50.8	50.4	49.6	49.0	48.4	47.6	46.0	42.8
26	51.3	50.8	50.4	49.6	49.0	48.4	47.6	46.0	42.8
27	51.4	50.9	50.4	49.6	49.0	48.4	47.6	46.0	42.7
28	51.4	50.9	50.5	49.7	49.1	48.4	47.7	46.0	42.7
29	51.5	51.0	50.5	49.7	49.1	48.4	47.7	46.0	42.6
30	51.5	51.0	50.5	49.7	49.1	48.4	47.7	46.0	42.5
31	51.6	51.1	50.6	49.8	49.2	48.5	47.7	45.9	42.5
32	51.6	51.1	50.6	49.8	49.2	48.5	47.7	45.9	42.4
33	51.7	51.2	50.6	49.8	49.2	48.5	47.7	45.9	42.3
34	51.7	51.2	50.6	49.8	49.2	48.5	47.7	45.8	42.2
35	51.8	51.3	50.7	49.9	49.2	48.5	47.7	45.8	42.2
35	51.8	51.3	50.7	49.9	49.2	48.5	47.7	45.8	42.1
37	51.9	51.3	50.7	49.9	49.2	48.5	47.7	45.7	42.0
38	51.9	51.3	50.7	49.9	49.2	48.5	47.7	45.7	42.0
39	52.0	51.4	50.8	50.0	49.2	48.5	47.7	45.7	41.9
40	52.0	51.4	50.8	50.0	49.2	48.5	47.7	45.6	41.8
41	52.1	51.4	50.8	50.0	49.2	48.5	47.7	45.6	41.8
42	52.1	51.5	50.8	50.0	49.2	48.5	47.7	45.6	41.7
43	52.2	51.5	50.8	50.0	49.3	48.5	47.7	45.5	41.6
44	52.2	51.5	59.0	50.0	49.3	48.5	47.7	45.5	41.5
45	52.3	51.5	59.0	50.1	49.3	48.6	47.7	45.4	41.4
46	52.3	51.5	59.0	50.1	49.3	48.6	47.7	45.4	41.4
47	52.4	51.6	59.0	50.1	49.3	48.6	47.7	45.3	41.3
48	52.4	51.6	59.0	50.1	49.3	48.6	47.7	45.3	41.2
49	52.4	51.7	51.0	50.2	49.3	48.6	47.7	45.2	41.1
50	52.5	51.7	51.0	50.2	49.4	48.6	47.7	45.2	41.0

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้นของการทดลองเติมโซเดียมคาร์บอเนตที่ปริมาณความเร็ว และ เวลาในการเหวี่ยงแยกต่างๆ กัน ได้ผลดังตาราง

Regression Statistics	
Multiple R	0.9998
R Square	0.9997
Adjusted R Square	0.9981
Standard Error	0.8503
Observations	13

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	10	4549.322	454.9322	629.2478	0.0016
Residual	2	1.4460	0.7230		
Total	12	4550.768			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	86.8533	0.4909	176.9231	0.0000	84.7411	88.9655	84.7411	88.9655
p	23.6533	0.4008	59.0114	0.0003	21.9287	25.3780	21.9287	25.3780
v	0.5433	0.4008	1.3555	0.3080	-1.1813	2.2680	-1.1813	2.2680
t	1.0022	0.4008	2.5004	0.1296	-0.7224	2.7268	-0.7224	2.7268
p^2	-13.0444	0.3450	-37.8126	0.0007	-14.5288	-11.5601	-14.5288	-11.5601
v^2	-2.0733	0.3450	-6.0101	0.0266	-3.5576	-0.5890	-3.5576	-0.5890
t^2	-1.7007	0.3450	-4.9300	0.0388	-3.1851	-0.2164	-3.1851	-0.2164
pv	-1.3819	0.5843	-2.3651	0.1417	-3.8960	1.1321	-3.8960	1.1321
pt	-2.9508	0.5843	-5.0502	0.0370	-5.4649	-0.4368	-5.4649	-0.4368
vt	9.6192	0.5843	16.4627	0.0037	7.1051	12.1332	7.1051	12.1332
pvt	-6.7977	0.6494	-10.4674	0.0090	-9.5919	-4.0035	-9.5919	-4.0035

เมื่อ p คือค่าความเป็นกรด-ด่าง

v คือความเร็วในการเหวี่ยง

t คือเวลาที่ใช้เหวี่ยง

ความหมายของการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นดังนี้

ตัวแปรอิสระทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับปริมาณแคลเซียมที่ลดลงค่อนข้างสูงคือร้อยละ 99.80 ซึ่งจะพิจารณาว่าตัวแปรอิสระใดควรใช้ในสมการพยากรณ์ต่อไป

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบว่าตัวแปรอิสระทั้งหมดจะนำมาพยากรณ์ปริมาณแคลเซียมที่ลดลงได้หรือไม่ โดยการตั้งสมมติฐานดังนี้

H_0 : ตัวแปรอิสระทุกตัวไม่มีผลต่อปริมาณแคลเซียมที่ลดลง

H_1 : ตัวแปรอิสระบางตัวมีผลต่อปริมาณแคลเซียมที่ลดลง

กำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

จากตารางพบว่าค่าสถิติ F ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าสถิติ F ที่เปิดจากตารางแสดงว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 กล่าวคือ ตัวแปรอิสระบางตัวมีผลต่อปริมาณแคลเซียมที่ลดลงที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบค่าสถิติและความน่าจะเป็นของตัวทดสอบ T เพื่อทดสอบว่าควรจะใช้ค่าคงที่ และตัวแปรอิสระใด ในสมการพยากรณ์ โดยตั้งสมมติฐานดังนี้

H_0 : ตัวแปรอิสระตัวที่ I ไม่มีผลต่อปริมาณแคลเซียมที่ลดลง

H_1 : ตัวแปรอิสระตัวที่ I มีผลต่อปริมาณแคลเซียมที่ลดลง

การวิเคราะห์อาจดูจากค่าสถิติ T-Stat เทียบกับการเปิดจากตารางสถิติหรือค่าความน่าจะเป็น P-Value ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในที่นี้จะวิเคราะห์จากค่าความน่าจะเป็นโดยเลือกค่าความน่าจะเป็นที่มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ สรุปตัวแปรที่นำมาใช้ในสมการพยากรณ์ได้ดังนี้

ตัวแปรอิสระ p มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 23.65

ตัวแปรอิสระ p^2 มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -13.04

ตัวแปรอิสระ v^2 มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -2.07

ตัวแปรอิสระ t^2 มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -1.70

ตัวแปรอิสระ pt มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -2.95

ตัวแปรอิสระ vt มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 9.62

ตัวแปรอิสระ pvt มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -6.80

จุดตัดมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 86.85

สรุปสมการพยากรณ์ได้ดังนี้ $Ca = 23.65p - 13.04p^2 - 2.07v^2 - 1.70t^2 - 2.95pt + 9.62vt - 6.8pvt + 86.85$

ภาคผนวก ฉ

การจำลองภาวะการณ์กำจัดแคลเซียม

ภาคผนวก ฉ 1 การจำลองภาวะการณ์ผลิตเอทิลแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล

STREAM REPORT

Batch Time = 72.2 h

STREAM NAME		S-114	Yeast1	Molasses	Water1	Air1
SOURCE		AF-102	INPUT	INPUT	INPUT	INPUT
DESTINATION		OUTPUT	F-101	R-102	R-102	G-101
STREAM PROPERTIES						
TEMP	°C	36.0	25.0	25.0	25.0	25.0
PRES	bar	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
DENSITY	g/l	1.2	1000.1	1256.9	1000.0	1.2
COMPONENT FLOWRATES (kg/Batch)						
Biomass		0.0000	188.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Calcium sulfate		0.0000	0.0000	10784.4200	0.0000	0.0000
Carb. Dioxide		337372.6952	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen		1504800.0000	0.0000	0.0000	0.00001504800.0000	
Other Impuritie		0.0000	0.0000	63578.6400	0.0000	0.0000
Oxygen		400000.0000	0.0000	0.0000	0.0000	400000.0000
Sucrose		0.0000	0.0000	410000.0000	0.0000	0.0000
Water		0.0000	93103.0000	316000.00004050000.0000		0.0000
TOTAL (kg/batch)		2242172.6952	93291.0000	800363.06004050000.00001904800.0000		
TOTAL (m3/batch)		1874302.9183	93.2820	636.7717	4050.00001620029.3301	

STREAM NAME		S-105	S-121	Ethanol2	S-110	S-104
SOURCE		G-101	CF-102	C-104	F-101	ST-101
DESTINATION		AF-101	C-104	OUTPUT	AF-102	F-101
STREAM PROPERTIES						
TEMP	°C	35.0	25.0	90.0	36.0	35.0
PRES	bar	6.0	1.0	1.0	1.0	1.0
DENSITY	g/l	6.8	1027.1	2.8	1.2	1067.4
COMPONENT FLOWRATES (kg/Batch)						
Biomass		0.0000	87986.1954	0.0000	0.0000	0.0000
Calcium sulfate		0.0000	135.8396	0.0000	0.0000	10725.1057
Carb. Dioxide		0.0000	0.0000	0.0000	337372.6952	0.0000
Ethyl Alcohol		0.0000	4468.6500	4469.0637	0.0000	0.0000
Glucose		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	812946.2536
Nitrogen		1504800.0000	0.0000	0.00001504800.0000		0.0000
Oxygen		400000.0000	0.0000	0.0000	400000.0000	0.0000
Water		0.0000	50853.1926	3512.0607	0.00003921969.9746	
TOTAL (kg/batch)		1904800.0000	143443.8776	7981.12442242172.69524745641.3339		
TOTAL (m3/batch)		282077.5204	139.6606	2894.75751874302.9183	4446.0455	

STREAM NAME		S-109	S-112	S-103	S-106	S-101
SOURCE		CF-102	F-101	AE-101	V-101	R-102
DESTINATION		V-101	CF-102	F-101	OUTPUT	CF-101
STREAM PROPERTIES						
TEMP	°C	25.0	36.0	35.0	25.0	35.0
PRES	bar	1.0	1.0	6.0	1.0	1.0
DENSITY	g/l	992.7	993.8	6.8	992.7	1067.8
COMPONENT FLOWRATES (kg/Batch)						
Biomass		0.0000	87986.1954	0.0000	0.0000	0.0000
Calcium sulfate		10589.2661	10725.1057	0.0000	10589.2661	10784.4200
Ethyl Alcohol		348350.0240	352818.6741	0.0000	348350.0240	0.0000
Glucose		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	820000.0000
Nitrogen		0.0000	0.0000	1504800.0000	0.0000	0.0000
Other Impuritie		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	63578.6400
Oxygen		0.0000	0.0000	400000.0000	0.0000	0.0000
Water		3964219.7820	4015072.9746	0.0000	3964219.7820	3956000.0000
TOTAL (kg/batch)		4323159.0721	4466602.9497	1904800.0000	4323159.0721	4850363.0600
TOTAL (m3/batch)		4354.8528	4494.5134	282077.5204	4354.8528	4542.4101

STREAM NAME		S-102	S-113	S-107
SOURCE		CF-101	CF-101	C-104
DESTINATION		ST-101	OUTPUT	OUTPUT
STREAM PROPERTIES				
TEMP	°C	25.0	25.0	100.0
PRES	bar	1.0	1.0	1.0
DENSITY	g/l	1067.4	1086.7	1034.8
COMPONENT FLOWRATES (kg/Batch)				
Biomass		0.0000	0.0000	87986.1954
Calcium sulfate		10725.1057	59.3143	135.8396
Glucose		812946.2536	7053.7464	0.0000
Other Impuritie		0.0000	63578.6400	0.0000
Water		3921969.9746	34030.0254	47341.1319
TOTAL (kg/batch)		4745641.3339	104721.7261	135463.1668
TOTAL (m3/batch)		4446.0455	96.3647	130.9088

OVERALL MATERIAL BALANCE (kg/Batch)
(Hours per Batch = 72)

COMPONENT	IN	OUT	(OUT-IN)
Biomass	188.000000	87986.195387	87798.195387
Calcium sulfate	10784.420000	10784.420000	0.000000
Carb. Dioxide	0.000000	337372.695238	337372.695238
Ethyl Alcohol	0.000000	352818.674056	352818.674056
Glucose	0.000000	7053.746416	7053.746416
Nitrogen	1504800.000000	1504800.000000	0.000000
Other Impuritie	63578.640000	63578.640000	0.000000
Oxygen	400000.000000	400000.000000	0.000000
Sucrose	410000.000000	0.000000	-410000.000000
Water	4459103.000000	4049103.000000	-410000.000000
TOTAL	6848454.060000	6813497.371097	-34956.688903

จากกระแส S-106 นำเข้าไปจำลองภาวะการณ์หอกลั่นด้วยโปรแกรม Pro II ได้ผลดังนี้

```
$ Generated by PRO/II Keyword Generation System <version 2.71 - 02-14-95>
$ Generated on: Wed Mar 10 17:08:52 1999
TITLE
  DIMENSION METRIC, PRES=KPA, ENERGY=J, STDTEMP=0, STDPRES=101.325
  SEQUENCE SIMSCI
  CALCULATION RVPBASIS=APIN, TVP=37.778
COMPONENT DATA
  LIBID 1,H2O/2,ETHANOL
THERMODYNAMIC DATA
  METHOD SYSTEM=UNIQ, SET=UNIQ01, DEFAULT
STREAM DATA
  PROPERTY STREAM=S1, TEMPERATURE=25, PHASE=M, COMPOSITION(M,KGM/H)=1, &
       3054/2,105
UNIT OPERATIONS
  COLUMN UID=T1
      PARAMETER TRAY=20,IO=30
      FEED S1,10
      PRODUCT  BTMS(M)=S2,3033.9, OVHD(M)=S3,125.1
      CONDENSER TYPE=BUBB
      DUTY 1,1/2,20
      PSPEC PTOP=10
      PRINT PROPTABLE=PART
      SPEC STREAM=S3,PCT(WT), COMP=2, VALUE=93
      SPEC COLUMN=T1, RRATIO, VALUE=3
      VARY DUTY=2,1
      REBOILER TYPE=KETTLE
END
```

COMPONENT DATA

	COMPONENT	COMP. TYPE	PHASE	MOL. WEIGHT	DENSITY KG/M3
1	H2O	LIBRARY	VAP/LIQ	18.015	998.566
2	ETHANOL	LIBRARY	VAP/LIQ	46.070	793.833

	COMPONENT	NBP C	CRIT. TEMP. C	CRIT. PRES. KPA	CRIT. VOLM. M3/KG-MOL
1	H2O	100.000	374.200	22119.199	.0554
2	ETHANOL	78.320	243.100	6383.470	.1670

	COMPONENT	ACEN. FACT.	HEAT FORM. J/KG-MOL	G FORM. J/KG-MOL
1	H2O	.34800	-2.4200E+08	-2.2880E+08
2	ETHANOL	.63600	-2.3481E+08	-1.6795E+08

CALCULATION SEQUENCE AND RECYCLES

CALCULATION SEQUENCE

SEQ	UNIT ID	UNIT TYPE
1	T1	COLUMN

COLUMN SUMMARY

UNIT 1, 'T1'

TOTAL NUMBER OF ITERATIONS

IN/OUT METHOD 16

COLUMN SUMMARY

TRAY	TEMP DEG C	PRESSURE KPA	NET FLOW RATES LIQUID KG-MOL/HR	VAPOR KG-MOL/HR	FEED KG-MOL/HR	PRODUCT KG-MOL/HR	HEATER DUTIES M*J/HR
1C	29.3	10.00	375.3			125.1L	-21427.6981
2	29.4	10.00	375.0	500.4			
3	29.5	10.00	374.6	500.1			
4	29.7	10.00	374.2	499.7			

5	29.9	10.00	373.5	499.2			
6	30.3	10.00	372.4	498.6			
7	31.2	10.00	369.9	497.5			
8	33.9	10.00	366.9	495.0			
9	38.7	10.00	368.0	492.0			
10	40.8	10.00	3615.6	493.1	3159.0L		
11	42.0	10.00	3621.6	581.7			
12	43.3	10.00	3628.2	587.7			
13	44.3	10.00	3633.7	594.3			
14	45.0	10.00	3637.6	599.8			
15	45.4	10.00	3639.8	603.6			
16	45.6	10.00	3641.0	605.9			
17	45.7	10.00	3641.6	607.1			
18	45.8	10.00	3641.9	607.7			
19	45.8	10.00	3642.1	608.0			
20R	45.8	10.00		608.2		3033.9L	26238.1108

FEED AND PRODUCT STREAMS

TYPE	STREAM	PHASE	FROM TRAY	TO TRAY	LIQUID FRAC	FLOW RATES KG-MOL/HR	HEAT RATES M*J/HR
FEED	S1	LIQUID		10	1.0000	3159.00	6043.2772
PROD	S3	LIQUID	1			125.10	381.3369
PROD	S2	LIQUID	20			3033.90	10472.3432
OVERALL MOLE BALANCE, (FEEDS - PRODUCTS)						-1.1990E-12	
OVERALL HEAT BALANCE, (H(IN) - H(OUT))							9.8994E-03

SPECIFICATIONS

PARAMETER TYPE	TRAY NO	COMP NO	SPECIFICATION TYPE	SPECIFIED VALUE	CALCULATED VALUE
STRM S3	1	2	WT PERCENT	9.300E+01	9.300E+01
UNIT T1	1		MOL RRATIO	3.000E+00	3.000E+00

REFLUX RATIOS

	REFLUX RATIOS		
	MOLAR	WEIGHT	STD L VOL
REFLUX / FEED STREAM S1	.1188	.2605	.3163
REFLUX / LIQUID DISTILLATE	3.0000	3.0000	3.0000

TRAY NET VAPOR RATES AND DENSITIES

TRAY	MW	ACTUAL DENS KG/M3	Z FROM DENSITY	RATES K*KG/HR	NORMAL K*M3/HR	ACTUAL K*M3/HR
2	41.541	.16513	1.00000	20.787	11.216	125.878
3	40.905	.16255	1.00000	20.456	11.209	125.841
4	40.182	.15960	1.00000	20.079	11.200	125.809
5	39.295	.15596	1.00000	19.618	11.190	125.787
6	38.102	.15102	1.00000	18.997	11.175	125.789
7	36.275	.14335	1.00000	18.045	11.150	125.883
8	32.940	.12902	1.00000	16.305	11.095	126.369
9	27.613	.10649	1.00000	13.585	11.027	127.573
10	25.100	.09616	1.00000	12.376	11.052	128.701
11	23.529	.08980	1.00000	13.686	13.037	152.411
12	21.808	.08290	1.00000	12.816	13.172	154.603
13	20.326	.07701	1.00000	12.079	13.320	156.844
14	19.294	.07294	1.00000	11.573	13.445	158.662
15	18.679	.07053	1.00000	11.275	13.530	159.874
16	18.345	.06922	1.00000	11.115	13.581	160.577
17	18.174	.06855	1.00000	11.034	13.608	160.953
18	18.089	.06822	1.00000	10.993	13.621	161.145
19	18.047	.06805	1.00000	10.973	13.628	161.240
20	18.026	.06797	1.00000	10.963	13.632	161.287

TRAY NET LIQUID RATES AND DENSITIES

TRAY	MW	ACTUAL DENS KG/M3	Z FROM DENSITY	RATES K*KG/HR	RATES STD LIQ M3/HR	RATES ACTUAL M3/HR
1	41.541	793.708	2.08E-04	15.590	19.357	19.642
2	40.693	796.209	2.03E-04	15.259	18.887	19.164
3	39.728	799.196	1.98E-04	14.883	18.354	18.622
4	38.544	803.090	1.91E-04	14.421	17.700	17.957
5	36.950	808.793	1.81E-04	13.800	16.820	17.063
6	34.505	818.756	1.67E-04	12.848	15.471	15.693
7	30.030	842.250	1.41E-04	11.108	13.009	13.188
8	22.864	905.580	9.89E-05	8.388	9.155	9.263
9	19.510	957.078	7.86E-05	7.179	7.423	7.501
10	18.903	968.980	7.47E-05	68.344	69.804	70.532
11	18.631	974.610	7.30E-05	67.475	68.518	69.233
12	18.394	979.684	7.14E-05	66.737	67.417	68.121
13	18.227	983.357	7.02E-05	66.232	66.653	67.353
14	18.126	985.608	6.95E-05	65.934	66.200	66.897
15	18.071	986.847	6.91E-05	65.774	65.954	66.650
16	18.042	987.490	6.89E-05	65.692	65.828	66.524
17	18.028	987.812	6.88E-05	65.651	65.766	66.461
18	18.021	987.971	6.88E-05	65.631	65.735	66.430
19	18.018	988.049	6.88E-05	65.621	65.720	66.415
20	18.016	988.087	6.88E-05	54.658	54.738	55.317

STREAM MOLAR COMPONENT RATES

STREAM ID / NAME / PHASE	S1 LIQUID	S2 LIQUID	S3 LIQUID
FLUID RATES, KG-MOL/HR			
1 H2O	3054.0000	3033.8074	20.1926
2 ETHANOL	105.0000	.0959	104.9041
TOTAL RATE, KG-MOL/HR	3159.0000	3033.9034	125.0966
TEMPERATURE, C	25.0000	45.8078	29.3340
PRESSURE, KPA	10.0000	10.0000	10.0000
ENTHALPY, M*J/HR	6043.2772	10472.3432	381.3369
MOLECULAR WEIGHT	18.9475	18.0159	41.5415
MOLE FRAC VAPOR	.0000	.0000	.0000
MOLE FRAC LIQUID	1.0000	1.0000	1.0000

STREAM SUMMARY

STREAM ID / NAME / PHASE	S1 LIQUID	S2 LIQUID	S3 LIQUID
----- TOTAL STREAM -----			
RATE, KG-MOL/HR	3159.000	3033.903	125.097
K*KG/HR	59.855	54.658	5.197
STD LIQ RATE, M3/HR	61.190	54.738	6.452
TEMPERATURE, C	25.000	45.808	29.334
PRESSURE, KPA	10.000	10.000	10.000
MOLECULAR WEIGHT	18.948	18.016	41.541
ENTHALPY, M*J/HR	6043.277	10472.343	381.337
J/KG	100965.095	191596.165	73380.648
MOLE FRACTION LIQUID	1.0000	1.0000	1.0000
REDUCED TEMP (KAYS RULE)	.4637	.4927	.5629
PRES (KAYS RULE)	4.6305E-04	4.5211E-04	1.1206E-03
ACENTRIC FACTOR	.3576	.3480	.5895
WATSON K (UOPK)	8.927	8.762	10.661
STD LIQ DENSITY, KG/M3	978.178	998.546	805.392
SPECIFIC GRAVITY	.9791	.9995	.8062
API GRAVITY	13.014	10.066	44.018
-------- VAPOR ---------			
RATE, KG-MOL/HR	N/A	N/A	N/A
K*KG/HR	N/A	N/A	N/A
K*M3/HR	N/A	N/A	N/A
NORM VAP RATE(1), K*M3/HR	N/A	N/A	N/A
SPECIFIC GRAVITY (AIR=1.0)	N/A	N/A	N/A

MOLECULAR WEIGHT	N/A	N/A	N/A
ENTHALPY, J/KG	N/A	N/A	N/A
CP, J/KG-C	N/A	N/A	N/A
DENSITY, KG/K*M3	N/A	N/A	N/A
Z (FROM DENSITY)	N/A	N/A	N/A
-------- LIQUID --------			
RATE, KG-MOL/HR	3159.000	3033.903	125.097
K*KG/HR	59.855	54.658	5.197
M3/HR	61.409	55.317	6.547
GAL/MIN	270.376	243.555	28.827
STD LIQ RATE, M3/HR	61.190	54.738	6.452
SPECIFIC GRAVITY (H2O=1.0)	.9791	.9995	.8062
MOLECULAR WEIGHT	18.948	18.016	41.541
ENTHALPY, J/KG	100965.095	191596.165	73380.648
CP, J/KG-C	4041.424	4177.623	2620.628
DENSITY, KG/M3	974.695	988.087	793.708
Z (FROM DENSITY)	7.8418E-05	6.8753E-05	2.0811E-04

(1) NORMAL VAPOR VOLUME IS 22.414 M3/KG-MOLE (0 C AND 1 ATM)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ 2 การทำจัดแคลเซียมโดยวิธีเหวี่ยงแยก

STREAM REPORT

Batch Time = 72.2 h

STREAM NAME		S-102	S-103	Sol.Liq.Was
SOURCE		INPUT	CF-101	CF-101
DESTINATION		CF-101	OUTPUT	OUTPUT
STREAM PROPERTIES				
TEMP	°C	25.0	35.0	35.0
PRES	bar	1.0	1.0	1.0
DENSITY	g/l	1067.4	1067.1	2202.3
COMPONENT FLOWRATES (kg/Batch)				
Calcium sulfate		10725.1057	8413.8454	2311.2603
Glucose		812946.2536	812850.9942	95.2594
Water		3921969.9746	3921510.4060	459.5686
TOTAL (kg/batch)		4745641.3339	4742775.2456	2866.0883
TOTAL (m3/batch)		4446.0455	4444.7441	1.3014

OVERALL MATERIAL BALANCE (kg/Batch)
(Hours per Batch = 72)

COMPONENT	IN	OUT	(OUT-IN)
Calcium sulfate	10725.105690	10725.105690	0.000000
Glucose	812946.253580	812946.253580	0.000000
Water	3921969.974610	3921969.974610	0.000000
TOTAL	4745641.333880	4745641.333880	0.000000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INPUT STREAM DATA

StreamName = S-102
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Calcium sulfate	10725.10569	0.23	100.00
Glucose	812946.25358	17.13	100.00
Water	3921969.97461	82.64	100.00

UNIT OPERATION DATA

Number of Process Steps = 1

Unit Name = CF-101
Unit Use = Disk-Stack Centrifuge

Calculation mode : Design
Operation mode : Batch
Removal mass percentages are calculated by the system.
Design Component = Calcium sulfate
Product Yield (%)= 21.55
Max Sigma Factor = 94500.00
Liquid Viscosity = 1.50
Particles In HP = 0.60
Efficiency (%) = 30.00
Exit Temperature = 35.00
Cost was estimated using system model for Disk-Stack Centrifuge

PROCESS SCHEDULING DATA

Plant Mode of Operation = BATCH

Annual Operating Time = 7920.00 hours
Number of campaigns = 1 campaign(s) per year
Plant Batch Time = 72.00 hours
Batch Turnaround Effic. = 1.00

Process Step Name	Sched Set By User	Process Time (hr)	Turnard Time (hr)	Cycles Per Batch	Start Time (hr)	Abs or Rel	Start Time Ref. Step	Container Unit
CF-101	No	0.11	0.13	300	0.00	Abs	n/a	CF-101

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (1996 prices)

Quantity/ Stand-by	Description	Unit Cost ($)	Cost ($)
2/0 CF-101	Disk-Stack Centrifuge Sigma Factor = 90632.63 m^2 Power = 21.04 kW	205000	410000
	Cost of Unlisted Equipment 20.0 % of Total		103000
TOTAL EQUIPMENT PURCHASE COST			513000

FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (1996 prices)

A. TOTAL PLANT DIRECT COST (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	(PC)	$	513000
2. Installation (summed over all units, inc. unlisted)			256000
3. Process Piping	(0.35 X PC)		180000
4. Instrumentation	(0.40 X PC)		205000
5. Insulation	(0.03 X PC)		15000
6. Electrical	(0.10 X PC)		51000
7. Buildings	(0.45 X PC)		231000
8. Yard Improvement	(0.15 X PC)		77000
9. Auxiliary Facilities	(0.40 X PC)		205000
	TPDC =		1733000

B. TOTAL PLANT INDIRECT COST (TPIC)

10. Engineering	(0.25 X TPDC)		433000
11. Construction	(0.35 X TPDC)		607000
	TPIC =		1040000
C. TOTAL PLANT COST (TPDC + TPIC)		TPC =	2773000
12. Contractor's fee	(0.05 X TPC)		139000
13. Contingency	(0.10 X TPC)		277000
	(12+13) =		416000
D. DIRECT FIXED CAPITAL (DFC)		TPC + 12 + 13 =	3189000

RAW MATERIALS (1996 prices)

Input Stream Name	Unit Cost ($/kg)	Annual Amount (kg)	Cost ($/yr)
TOTAL			0

VARIOUS CONSUMABLES (1996 prices)

TOTAL	0

HEAT TRANSFER AGENT : Steam (10.00 $/10^6 kcal)

Process Step Name	Duty (kcal/h)	Annual Amount (10^6 kcal)	Cost ($/yr)
CF-101	1222164.8	4436	44000
SUBTOTAL			44000
TOTAL			61000

ภาคผนวก จ.3 การกำจัดแคลเซียมโดยวิธีเติมสารเคมีและเหวี่ยงแยก

STREAM REPORT

Batch Time = 72.2 h

STREAM NAME		Sol.Liq.Was	NaOH	S-108	Na2CO3	S-106
SOURCE		CF-101	INPUT	V-102	INPUT	CF-101
DESTINATION		OUTPUT	V-102	R-103	R-103	V-103
STREAM PROPERTIES						
TEMP	°C	35.0	25.0	35.0	25.0	35.0
PRES	bar	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
DENSITY	g/l	2054.6	1361.0	1068.5	2532.0	1067.9
COMPONENT FLOWRATES (kg/Batch)						
Calcium carbona		6714.9406	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Calcium sulfate		73.3563	0.0000	10725.1057	0.0000	1518.2494
Glucose		304.1617	0.0000	812946.2536	0.0000	812642.0918
Sodium carbonat		2.5563	0.0000	0.0000	13943.0000	6829.6779
Sodium Hydroxid		3.6592	9780.0000	9780.0000	0.0000	9776.3408
Sodium sulfate		3.5654	0.0000	0.0000	0.0000	9525.7599
Water		1467.3949	9780.00003921969.9746		0.00003920502.5797	
TOTAL (kg/batch)		8569.6344	19560.00004755421.3339		13943.00004760794.6995	
TOTAL (m3/batch)		4.1710	14.3715	4450.6370	5.5067	4458.0859

STREAM NAME		H3PO4	S-105	S-102	S-108
SOURCE		INPUT	V-103	INPUT	R-103
DESTINATION		V-103	OUTPUT	V-102	CF-101
STREAM PROPERTIES					
TEMP	°C	25.0	25.0	35.0	35.0
PRES	bar	1.0	1.0	1.0	1.0
DENSITY	g/l	1880.0	1070.2	1067.5	1068.8
COMPONENT FLOWRATES (kg/Batch)					
Calcium carbona		0.0000	0.0000	0.0000	6714.9406
Calcium sulfate		0.0000	1518.2494	10725.1057	1591.6057
Glucose		0.0000	812642.0918	812946.2536	812946.2536
Phosphoric Acid		23676.9000	23676.9000	0.0000	0.0000
Sodium carbonat		0.0000	6829.6779	0.0000	6832.2341
Sodium Hydroxid		0.0000	9776.3408	0.0000	9780.0000
Sodium sulfate		0.0000	9525.7599	0.0000	9529.3253
Water		0.00003920502.57973912189.97463921969.9746			
TOTAL (kg/batch)		23676.90004784471.59954735861.33394769364.3339			
TOTAL (m3/batch)		12.5941	4470.6800	4436.2655	4462.2569

OVERALL MATERIAL BALANCE (kg/Batch)
(Hours per Batch = 72)

COMPONENT	IN	OUT	(OUT-IN)
Calcium carbona	0.000000	6714.940617	6714.940617
Calcium sulfate	10725.105690	1591.605684	-9133.500006
Glucose	812946.253580	812946.253580	0.000000
Phosphoric Acid	23676.900000	23676.900000	0.000000
Sodium carbonat	13943.000000	6832.234130	-7110.765870
Sodium Hydroxid	9780.000000	9780.000000	0.000000
Sodium sulfate	0.000000	9529.325259	9529.325259
Water	3921969.974610	3921969.974610	0.000000
TOTAL	4793041.233880	4793041.233880	0.000000

INPUT STREAM DATA

StreamName = NaOH
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Sodium Hydroxid	9780.00000	50.00	100.00
Water	9780.00000	50.00	100.00

StreamName = Na2CO3
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Sodium carbonat	13943.00000	100.00	100.00

StreamName = H3PO4
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Phosphoric Acid	23676.90000	100.00	100.00

StreamName = S-102
Temp = 35.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Calcium sulfate	10725.10569	0.23	100.00
Glucose	812946.25358	17.17	100.00
Water	3912189.97461	82.61	100.00

UNIT OPERATION DATA

Number of Process Steps = 4

Unit Name = R-103
Unit Use = WM_Reactor

Calculation mode : Design
Operation mode : Batch
Max Tot Volume = 300.000
Liq / Total Vol = 0.85
Height / Diametr = 2.50
Agitation Rate = 0.50
Vessel Temperat = 35.00
Design Pressure = 1.50
Vessel is constructed according to ASME standards.

REACTION DATA

Reaction : Reaction #1
Seq. No : 1
Extent (%) = 85.16
Rxn Temperat = 85.16
Enthalpy = 0.00
Enthalpy Comp = (none)
HX Agent = Cooling Water

Component Name	Stoich.Coeff.	ExtraCell %	% In Gas Outlet
Calcium carbona	1.00	100.00	0.00
Calcium sulfate	-1.00	100.00	0.00
Glucose	0.00	100.00	0.00
Phosphoric Acid	0.00	100.00	0.00
Sodium carbonat	-1.00	100.00	0.00
Sodium Hydroxid	0.00	100.00	0.00
Sodium sulfate	1.00	100.00	0.00
Water	0.00	100.00	0.00

Cost was estimated using system model for Well Mixed Reactor

Unit Name = V-102
Unit Use = Blending Tank

Calculation mode : Design
Operation mode : Batch
Agitation Rate = 0.25
Exit Temperature = 35.00

```
Heat Trans Agent = Chilled Water
Height/Diameter  = 2.50
Liq Vol/Tot Vol  = 0.85
Design Pressure  = 1.50
Operating Press  = 1.00
Vessel is constructed according to ASME standards.
Max Tot Volume   = 300.00
Cost was estimated using system model for Blending Tank


Unit Name     = V-103
Unit Use      = Blending Tank
-------------------------------------------------------------------------
Calculation mode : Design
Operation mode   : Batch
Agitation Rate   = 0.25
Exit Temperature = 25.00
Heat Trans Agent = Chilled Water
Height/Diameter  = 2.50
Liq Vol/Tot Vol  = 0.85
Design Pressure  = 1.50
Operating Press  = 1.00
Vessel is constructed according to ASME standards.
Max Tot Volume   = 300.00
Cost was estimated using system model for Blending Tank


Unit Name     = CF-101
Unit Use      = Disk-Stack Centrifuge
-------------------------------------------------------------------------
Calculation mode : Design
Operation mode   : Batch
Removal mass percentages are calculated by the system.
Design Component = Calcium carbona
Product Yield (%)= 100.00
Max Sigma Factor = 94500.00
Liquid Viscosity = 1.50
Particles In HP  = 0.60
Efficiency (%)   = 30.00
Exit Temperature = 35.00
Cost was estimated using system model for Disk-Stack Centrifuge


PROCESS SCHEDULING DATA

Plant Mode of Operation  =  BATCH

Annual Operating Time    = 7920.00  hours
Number of campaigns      = 1        campaign(s) per year
Plant Batch Time         = 71.16    hours
Batch Turnaround Effic.  = 1.00

Process    Sched   Process Turnard  Cycles  Start  Abs  Start       Container
Step       Set By  Time    Time     Per     Time   or   Time Ref.  Unit
Name       User    (hr)    (hr)     Batch   (hr)   Rel  Step
-------------------------------------------------------------------------
R-103        No      0.30    6.80     10      0.00  Abs    n/a        R-103
V-102        No      0.30    6.80     10      0.20  Abs    n/a        V-102
V-103        No      0.30    6.80     10      0.00  Abs    n/a        V-103
CF-101       No      0.11    0.13     295     0.00  Abs    n/a        CF-101
```

MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (1996 prices)

Quantity/ Stand-by		Description	Unit Cost ($)	Cost ($)
2/0	R-103	Well Mixed Reactor Volume = 262.13 m^3 Power = 111.40 kW	811000	1622000
2/0	V-102	Blending Tank Volume = 261.80 m^3 Power = 55.63 kW	150000	300000
2/0	V-103	Blending Tank Volume = 262.98 m^3 Power = 55.88 kW	150000	300000
1/0	CF-101	Disk-Stack Centrifuge Sigma Factor = 8535.96 m^2 Power = 8.18 kW	66000	66000
		Cost of Unlisted Equipment 20.0 % of Total		572000
TOTAL EQUIPMENT PURCHASE COST				2860000

FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (1996 prices)

A. TOTAL PLANT DIRECT COST (TPDC) (physical cost)			
1. Equipment Purchase Cost	(PC)	$	2860000
2. Installation (summed over all units, inc. unlisted)			1430000
3. Process Piping	(0.35 X PC)		1001000
4. Instrumentation	(0.40 X PC)		1144000
5. Insulation	(0.03 X PC)		86000
6. Electrical	(0.10 X PC)		286000
7. Buildings	(0.45 X PC)		1287000
8. Yard Improvement	(0.15 X PC)		429000
9. Auxiliary Facilities	(0.40 X PC)		1144000
	TPDC =		9667000
B. TOTAL PLANT INDIRECT COST (TPIC)			
10. Engineering	(0.25 X TPDC)		2417000
11. Construction	(0.35 X TPDC)		3383000
	TPIC =		5800000
C. TOTAL PLANT COST (TPDC + TPIC)	TPC =		15467000
12. Contractor's fee	(0.05 X TPC)		773000
13. Contingency	(0.10 X TPC)		1547000
	(12+13) =		2320000
D. DIRECT FIXED CAPITAL (DFC)	TPC + 12 + 13 =		17787000

RAW MATERIALS (1996 prices)

Input Stream Name	Unit Cost ($/kg)	Annual Amount (kg)	Cost ($/yr)
NaOH	1.100e-001	2181859.24	240000
Na2CO3	1.420e-001	1555299.76	221000
H3PO4	3.300e-001	2641087.06	872000
TOTAL			1333000

VARIOUS CONSUMABLES (1996 prices)

TOTAL	0

HEAT TRANSFER AGENT : Chilled Water (35.00 $/10^6 kcal)

Process Step Name	Duty (kcal/h)	Annual Amount (10^6 kcal)	Cost ($/yr)
V-102	48551.4	16	1000
V-103	13951578.0	4669	163000
CF-101	7036.8	25	1000
SUBTOTAL			165000

HEAT TRANSFER AGENT : Cooling Water (25.00 $/10^6 kcal)

Process Step Name	Duty (kcal/h)	Annual Amount (10^6 kcal)	Cost ($/yr)
R-103	151179.0	51	1000
SUBTOTAL			1000

TOTAL	186000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ 4 การกำจัดแคลเซียมโดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน

STREAM REPORT

Batch Time = 72.2 h

STREAM NAME		Water	NaCl	S-103	Liq.Waste	S-102
SOURCE		INPUT	INPUT	C-101	C-101	INPUT
DESTINATION		C-101	C-101	OUTPUT	OUTPUT	C-101
STREAM PROPERTIES						
TEMP	°C	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
PRES	bar	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
DENSITY	g/l	1000.0	2164.0	1065.9	1778.7	1067.4
COMPONENT FLOWRATES (kg/Batch)						
Calcium sulfate		0.0000	0.0000	429.0042	10296.1015	10725.1057
Glucose		0.0000	0.0000	812946.2536	0.0000	812946.2536
Sodium Chloride		0.00002228076.3565		0.00002228076.3565		0.0000
Water		514805.0731	0.00003921969.8778	514805.07313921969.8778		
TOTAL (kg/batch)		514805.07312228076.35654735345.13562753177.53104745641.2371				
TOTAL (m3/batch)		514.8051	1029.6101	4442.5670	1547.8936	4446.0454

OVERALL MATERIAL BALANCE (kg/Batch)
(Hours per Batch = 72)

COMPONENT	IN	OUT	(OUT-IN)
Calcium sulfate	10725.105690	10725.105690	0.000000
Glucose	812946.253580	812946.253580	0.000000
Sodium Chloride	2228076.356463	2228076.356463	0.000000
Water	4436774.950920	4436774.950920	0.000000
TOTAL	7488522.666653	7488522.666653	0.000000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INPUT STREAM DATA

StreamName = Water
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Water	514805.07312	100.00	100.00

StreamName = NaCl
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Sodium Chloride	2228076.35646	100.00	100.00

StreamName = S-102
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Calcium sulfate	10725.10569	0.23	100.00
Glucose	812946.25358	17.13	100.00
Water	3921969.87780	82.64	100.00

UNIT OPERATION DATA

Number of Process Steps = 1

Unit Name = C-101
Unit Use = Ion Exchange

Calculation mode : Design
Operation mode : Batch
Design for Diameter (Length is set)
Column Length = 3.72
Max Col Diameter = 1.02
Overdesign Fact. = 1.00
Resin Binding Cap= 40.00
Load Flowrate = 717.27
Elut Flowrate = 717.27
Wash Flowrate = 717.27
Elution Volume = 2.00
Product Volume = 0.50
Washing Volume = 4.00
Throughput = 0.26
Replacement Freq = 200.00
Resin Unit Cost = 3.00
Resin is used to retain the impurities

Component Name	Binding Mass %	Recovery Yield (%)
Calcium sulfate	96.00	0.00
Glucose	0.00	0.00
Sodium Chloride	0.00	0.00
Sucrose	0.00	0.00
Water	0.00	0.00

Cost was estimated using system model for Ion Exchange

PROCESS SCHEDULING DATA

Plant Mode of Operation = BATCH

Annual Operating Time = 7920.00 hours
Number of campaigns = 1 campaign(s) per year
Plant Batch Time = 72.42 hours
Batch Turnaround Effic. = 1.00

Process Step Name	Sched Set By User	Process Time (hr)	Turnard Time (hr)	Cycles Per Batch	Start Time (hr)	Abs or Rel	Start Time Ref. Step	Container Unit
C-101	No	0.07	12.00	6	0.00	Abs	n/a	C-101

MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (1996 prices)

Quantity/ Stand-by	Description	Unit Cost ($)	Cost ($)
15/0 C-101	Ion Exchange Column Diameter = 0.99 m Column Length = 3.72 m	276000	4140000
	Cost of Unlisted Equipment 20.0 % of Total		1035000
TOTAL EQUIPMENT PURCHASE COST			5175000

FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (1996 prices)

A. TOTAL PLANT DIRECT COST (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	(PC)	$	5175000
2. Installation (summed over all units, inc. unlisted)			2588000
3. Process Piping	(0.35 X PC)		1811000
4. Instrumentation	(0.40 X PC)		2070000
5. Insulation	(0.03 X PC)		155000
6. Electrical	(0.10 X PC)		518000
7. Buildings	(0.45 X PC)		2329000
8. Yard Improvement	(0.15 X PC)		776000
9. Auxiliary Facilities	(0.40 X PC)		2070000
	TPDC =		17492000

B. TOTAL PLANT INDIRECT COST (TPIC)

10. Engineering	(0.25 X TPDC)		4373000
11. Construction	(0.35 X TPDC)		6122000
	TPIC =		10495000
C. TOTAL PLANT COST (TPDC + TPIC)		TPC =	27987000
12. Contractor's fee	(0.05 X TPC)		1399000
13. Contingency	(0.10 X TPC)		2799000
	(12+13) =		4198000
D. DIRECT FIXED CAPITAL (DFC)		TPC + 12 + 13 =	32185000

RAW MATERIALS (1996 prices)

Input Stream Name	Unit Cost ($/kg)	Annual Amount (kg)	Cost ($/yr)
NaCl	8.900e-002	243667008.33	21686000
TOTAL			21686000

VARIOUS CONSUMABLES (1996 prices)

CHROMATOGRAPHY RESINS

Process Step	Unit Cost ($/L)	Annual Amount (L)	Cost ($/yr)
C-101	3.00	816.28	2000
SUBTOTAL			2000
TOTAL			2000

ภาคผนวก จ 5 การทำจัดแคลเซียมโดยวิธีเติมสารเคมี เหวี่ยงแยก และแลกเปลี่ยนไอออน

STREAM REPORT

Batch Time = 72.2 h

STREAM NAME		Sol.Liq.Was	NaOH	S-108	Na2CO3	S-106
SOURCE		CF-101	INPUT	V-102	INPUT	CF-101
DESTINATION		OUTPUT	V-102	R-103	R-103	V-103
STREAM PROPERTIES						
TEMP	°C	35.0	25.0	35.0	25.0	35.0
PRES	bar	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
DENSITY	g/l	2053.1	1361.0	1068.5	2532.0	1067.9
COMPONENT FLOWRATES (kg/Batch)						
Calcium carbona		6568.2780	0.0000	0.0000	0.0000	134.0465
Calcium sulfate		0.7415	0.0000	10725.1057	0.0000	1608.0244
Glucose		294.6035	0.0000	812946.2536	0.0000	812651.6501
Sodium carbonat		2.4808	0.0000	0.0000	13943.0000	6843.1132
Sodium Hydroxid		3.5442	9780.0000	9780.0000	0.0000	9776.4558
Sodium sulfate		3.4468	0.0000	0.0000	0.0000	9507.9746
Water		1421.2824	9780.00003921969.9746		0.00003920548.6922	
TOTAL (kg/batch)		8294.3772	19560.00004755421.3339		13943.00004761069.9567	
TOTAL (m3/batch)		4.0399	14.3715	4450.6370	5.5067	4458.2055

STREAM NAME		H3PO4	S-102	S-107	S-101	Water
SOURCE		INPUT	INPUT	R-103	V-103	INPUT
DESTINATION		V-103	V-102	CF-101	C-101	C-101
STREAM PROPERTIES						
TEMP	°C	25.0	35.0	35.0	35.0	25.0
PRES	bar	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
DENSITY	g/l	1880.0	1067.5	1068.8	1070.2	1000.0
COMPONENT FLOWRATES (kg/Batch)						
Calcium carbona		0.0000	0.0000	6702.3245	134.0465	0.0000
Calcium sulfate		0.0000	10725.1057	1608.7659	1608.0244	0.0000
Glucose		0.0000	812946.2536	812946.2536	812651.6501	0.0000
Phosphoric Acid		23676.9000	0.0000	0.0000	23676.9000	0.0000
Sodium carbonat		0.0000	0.0000	6845.5940	6843.1132	0.0000
Sodium Hydroxid		0.0000	0.0000	9780.0000	9776.4558	0.0000
Sodium sulfate		0.0000	0.0000	9511.4214	9507.9746	0.0000
Water		0.00003912189.97463921969.97463920548.6922				83619.4018
TOTAL (kg/batch)		23676.90004735861.33394769364.33394784746.8567				83619.4018
TOTAL (m3/batch)		12.5941	4436.2655	4462.2454	4470.7996	83.6194

STREAM NAME		NaCl	Liq.Waste	S-105
SOURCE		INPUT	C-101	C-101
DESTINATION		C-101	OUTPUT	OUTPUT
STREAM PROPERTIES				
TEMP	°C	25.0	34.1	25.0
PRES	bar	1.0	1.0	1.0
DENSITY	g/l	2164.0	1048.0	1574.4
COMPONENT FLOWRATES (kg/Batch)				
Calcium carbona		0.0000	128.6846	5.3619
Calcium sulfate		0.0000	1543.7034	64.3210
Glucose		0.0000	0.0000	812651.6501
Phosphoric Acid		0.0000	0.0000	23676.9000
Sodium carbonat		0.0000	0.0000	6843.1132
Sodium Chloride		361904.7710	361904.7710	0.0000
Sodium Hydroxid		0.0000	9776.4558	0.0000
Sodium sulfate		0.0000	9507.9746	0.0000
Water		0.0000	4004168.0940	0.0000
TOTAL (kg/batch)		361904.7710	4387029.6834	843241.3461
TOTAL (m3/batch)		167.2388	4186.0738	535.5840

OVERALL MATERIAL BALANCE (kg/Batch)
(Hours per Batch = 72)

COMPONENT	IN	OUT	(OUT-IN)
Calcium carbona	0.000000	6702.324477	6702.324477
Calcium sulfate	10725.105690	1608.765854	-9116.339837
Glucose	812946.253580	812946.253580	0.000000
Phosphoric Acid	23676.900000	23676.900000	0.000000
Sodium carbonat	13943.000000	6845.593953	-7097.406047
Sodium Chloride	361904.770990	361904.770990	0.000000
Sodium Hydroxid	9780.000000	9780.000000	0.000000
Sodium sulfate	0.000000	9511.421407	9511.421407
Water	4005589.376410	4005589.376410	0.000000
TOTAL	5238565.406670	5238565.406670	-0.000000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INPUT STREAM DATA

StreamName = NaOH
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Sodium Hydroxid	9780.00000	50.00	100.00
Water	9780.00000	50.00	100.00

StreamName = Na2CO3
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Sodium carbonat	13943.00000	100.00	100.00

StreamName = H3PO4
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Phosphoric Acid	23676.90000	100.00	100.00

StreamName = S-102
Temp = 35.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Calcium sulfate	10725.10569	0.23	100.00
Glucose	812946.25358	17.17	100.00
Water	3912189.97461	82.61	100.00

StreamName = Water
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Water	83619.40180	100.00	100.00

StreamName = NaCl
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/Batch)	Mass %	Extracell. %
Sodium Chloride	361904.77099	100.00	100.00

UNIT OPERATION DATA
Number of Process Steps = 5
Unit Name = R-103
Unit Use = WM_Reactor

Calculation mode : Design
Operation mode : Batch
Max Tot Volume = 300.000
Liq / Total Vol = 0.85
Height / Diametr = 2.50
Agitation Rate = 0.50
Vessel Temperat = 35.00
Design Pressure = 1.50
Vessel is constructed according to ASME standards.

REACTION DATA
Reaction : Reaction #1
Seq. No : 1
Extent (%) = 85.00
Rxn Temperat = 85.00
Enthalpy = 0.00
Enthalpy Comp = (none)
HX Agent = Cooling Water

Component Name	Stoich.Coeff.	ExtraCell %	% In Gas Outlet
Calcium carbona	1.00	100.00	0.00
Calcium sulfate	-1.00	100.00	0.00
Glucose	0.00	100.00	0.00
Other Impuritie	0.00	100.00	0.00
Phosphoric Acid	0.00	100.00	0.00
Sodium carbonat	-1.00	100.00	0.00
Sodium Chloride	0.00	100.00	0.00
Sodium Hydroxid	0.00	100.00	0.00
Sodium sulfate	1.00	100.00	0.00
Sucrose	0.00	100.00	0.00
Water	0.00	100.00	0.00

Cost was estimated using system model for Well Mixed Reactor

```
Unit Name     = V-102
Unit Use      = Blending Tank
-------------------------------------------------------------------------
Calculation mode : Design
Operation mode   : Batch
Agitation Rate   = 0.25
Exit Temperature = 35.00
Heat Trans Agent = Chilled Water
Height/Diameter  = 2.50
Liq Vol/Tot Vol  = 0.85
Design Pressure  = 1.50
Operating Press  = 1.00
Vessel is constructed according to ASME standards.
Max Tot Volume   = 300.00
Cost was estimated using system model for Blending Tank


Unit Name     = V-103
Unit Use      = Blending Tank
-------------------------------------------------------------------------
Calculation mode : Design
Operation mode   : Batch
Agitation Rate   = 0.25
Exit Temperature = 35.00
Heat Trans Agent = Chilled Water
Height/Diameter  = 2.50
Liq Vol/Tot Vol  = 0.85
Design Pressure  = 1.50
Operating Press  = 1.00
Vessel is constructed according to ASME standards.
Max Tot Volume   = 300.00
Cost was estimated using system model for Blending Tank

Unit Name     = CF-101
Unit Use      = Disk-Stack Centrifuge
-------------------------------------------------------------------------
Calculation mode : Design
Operation mode   : Batch
Removal mass percentages are calculated by the system.
Design Component = Calcium carbona
Product Yield (%)= 98.00
Max Sigma Factor = 94500.00
Liquid Viscosity = 1.50
Particles In HP  = 0.60
Efficiency (%)   = 30.00
Exit Temperature = 35.00
Cost was estimated using system model for Disk-Stack Centrifuge


Unit Name     = C-101
Unit Use      = Ion Exchange
-------------------------------------------------------------------------
Calculation mode : Design
Operation mode   : Batch
Design for Diameter (Length is set)
Column Length    = 3.72
Max Col Diameter = 1.02
Overdesign Fact. = 1.00
Resin Binding Cap= 40.00
Load Flowrate    = 3480.59
Elut Flowrate    = 3480.59
Wash Flowrate    = 3480.59
Elution Volume   = 2.00
Product Volume   = 0.50
Washing Volume   = 4.00
Throughput       = 1.04
Replacement Freq = 200.00
Resin Unit Cost  = 3.00
Resin is used to retain the impurities
=========================================================
Component Name   Binding Mass %    Recovery Yield (%)
---------------------------------------------------------
 Calcium carbona          96.00              0.00
 Calcium sulfate          96.00              0.00
 Glucose                   0.00              0.00
 Other Impuritie           0.00              0.00
 Phosphoric Acid           0.00              0.00
 Sodium carbonat           0.00              0.00
=========================================================
Cost was estimated using system model for Ion Exchange
```

PROCESS SCHEDULING DATA

Plant Mode of Operation = BATCH

Annual Operating Time = 7920.00 hours
Number of campaigns = 1 campaign(s) per year
Plant Batch Time = 73.00 hours
Batch Turnaround Effic. = 1.00

Process Step Name	Sched Set By User	Process Time (hr)	Turnard Time (hr)	Cycles Per Batch	Start Time (hr)	Abs or Rel	Start Time Ref. Step	Container Unit
R-103	No	0.30	6.80	10	0.00	Abs	n/a	R-103
V-102	No	0.30	6.80	10	0.20	Abs	n/a	V-102
V-103	No	0.30	7.00	10	0.00	Abs	n/a	V-103
CF-101	No	0.11	0.13	295	0.00	Abs	n/a	CF-101
C-101	No	0.07	12.00	6	0.00	Abs	n/a	C-101

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (1996 prices)

Quantity/ Stand-by		Description	Unit Cost ($)	Cost ($)
2/0	R-103	Well Mixed Reactor Volume = 262.13 m^3 Power = 111.40 kW	811000	1622000
2/0	V-102	Blending Tank Volume = 261.80 m^3 Power = 55.63 kW	150000	300000
2/0	V-103	Blending Tank Volume = 262.99 m^3 Power = 55.88 kW	150000	300000
1/0	CF-101	Disk-Stack Centrifuge Sigma Factor = 8535.95 m^2 Power = 8.18 kW	66000	66000
3/0	C-101	Ion Exchange Column Diameter = 0.89 m Column Length = 3.72 m	258000	774000
		Cost of Unlisted Equipment 20.0 % of Total		766000
TOTAL EQUIPMENT PURCHASE COST				3828000

FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (1996 prices)

A. TOTAL PLANT DIRECT COST (TPDC) (physical cost)			
1. Equipment Purchase Cost	(PC)	$	3828000
2. Installation (summed over all units, inc. unlisted)			1914000
3. Process Piping	(0.35 X PC)		1340000
4. Instrumentation	(0.40 X PC)		1531000
5. Insulation	(0.03 X PC)		115000
6. Electrical	(0.10 X PC)		383000
7. Buildings	(0.45 X PC)		1723000
8. Yard Improvement	(0.15 X PC)		574000
9. Auxiliary Facilities	(0.40 X PC)		1531000
	TPDC =		12939000
B. TOTAL PLANT INDIRECT COST (TPIC)			
10. Engineering	(0.25 X TPDC)		3235000
11. Construction	(0.35 X TPDC)		4529000
	TPIC =		7764000
C. TOTAL PLANT COST (TPDC + TPIC)	TPC =		20703000
12. Contractor's fee	(0.05 X TPC)		1035000
13. Contingency	(0.10 X TPC)		2070000
	(12+13) =		3105000
D. DIRECT FIXED CAPITAL (DFC)	TPC + 12 + 13 =		23808000

RAW MATERIALS (1996 prices)

Input Stream Name	Unit Cost ($/kg)	Annual Amount (kg)	Cost ($/yr)
NaOH	1.100e-001	2122126.03	233000
Na2CO3	1.420e-001	1512720.00	215000
H3PO4	3.300e-001	2568781.48	848000
NaCl	8.900e-002	39264188.85	3495000
TOTAL			4791000

VARIOUS CONSUMABLES (1996 prices)

CHROMATOGRAPHY RESINS

Process Step	Unit Cost ($/L)	Annual Amount (L)	Cost ($/yr)
C-101	3.00	131.53	394.59
SUBTOTAL			394.59
TOTAL			394.59

HEAT TRANSFER AGENT : Chilled Water (35.00 $/10^6 kcal)

Process Step Name	Duty (kcal/h)	Annual Amount (10^6 kcal)	Cost ($/yr)
V-102	48551.4	16	1000
V-103	81688.6	27	1000
CF-101	7036.7	25	1000
SUBTOTAL			3000

HEAT TRANSFER AGENT : Cooling Water (25.00 $/10^6 kcal)

Process Step Name	Duty (kcal/h)	Annual Amount (10^6 kcal)	Cost ($/yr)
R-103	151179.0	49	1000
SUBTOTAL			1000
TOTAL			24000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นายณัฐพงศ์ งามประดิษฐ์ เกิดวันที่ 8 กันยายน พ.ศ.2516 ที่เขตหนองแขม จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยรังสิต ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2538

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย