

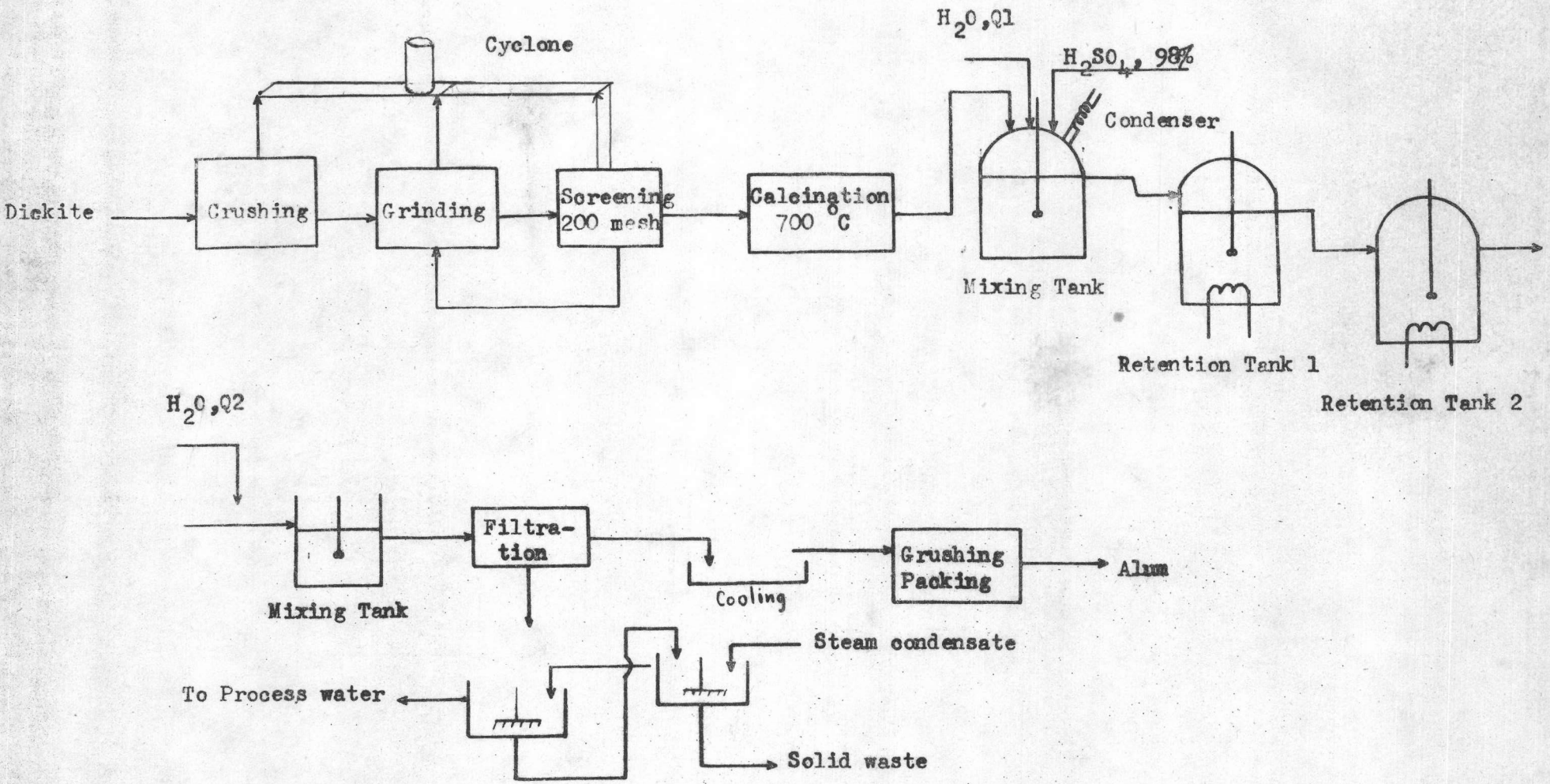


ระบบการผลิตขึ้นอุตสาหกรรม

ขบวนการผลิต

ในรูปที่ 20 แสดงแผนผังขบวนการผลิตสารส้มจากแร่หินสบู โดยการค้าวนจากข้อมูลในตารางที่ 36 ขบวนการผลิตมีดังต่อไปนี้

แร่หินสบู่ ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 - 12 นิ้ว จะถูกดำเสียงมาจากแหล่งผลิตที่บริเวณเขาชะงอก จังหวัดสระบุรี โดยทางรถยนต์ทุกสัปดาห์หรือโดยทางรถไฟมายังบริเวณโรงงานเก็บแร่นี้โดยการกองไว้ที่พื้น มีเครื่องตัก ลักษณะคล้ายเครื่องตักหิน ทำหน้าที่ตักหินเหล่านี้เทลงบนเครื่องบดหยาบ (Crushing) ทำหน้าที่บดให้แร่หินสบู่มีขนาดเล็กลงพอที่จะเข้าเครื่องบดละเอียดได้ (Grinding) หลังจากที่แร่นี้ผ่านเครื่องบดละเอียดแล้ว จะเป็นผงละเอียดขนาดของเม็ดแร่ที่เล็กกว่า 200 เมช จะผ่านแรงนี้ไปเข้าเตาเผาที่มีอุณหภูมิ 700° ซ ส่วนขนาดที่โตกว่า 200 เมช จะย้อนกลับเข้าเครื่องบดละเอียดเพื่อบดใหม่ ระยะเวลาของการเผา 30 นาที แร่ที่ออกจากเตาเผาต้องทิ้งไว้ให้เย็นตัวจนอุณหภูมิประมาณ 100° ซ แล้วป้อนเข้าถังปฏิกรณ์ใบที่ 1 ขณะเดียวกันจะสูบน้ำและกรดซัลฟูริกเข้าตามจำนวนที่ต้องการ ถึงปฏิกรณ์นี้ทำหน้าที่คล้ายกับเป็น Mixing Tank ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นรุนแรงมาก ต้องมีเครื่องควบแน่น เพื่อป้องกันการสูญเสียไอน้ำกรด และลดอุณหภูมิของปฏิกริยา อุณหภูมิของของเหลวในถังปฏิกรณ์เท่ากับจุดเดือดของของเหลวประมาณ 120° ซ ของเหลวจากถังปฏิกรณ์ใบที่ 1 จะดันเข้าไปในถังปฏิกรณ์ใบที่ 2 ซึ่งทำหน้าที่เป็น Retention Tank มีไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อน เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เท่ากับ 120° ซ จากถังใบนี้ ของเหลวส่วนเกินจะไหลดันเข้าไปในถังใบที่ 3 ซึ่งทำหน้าที่เพื่อให้ปฏิกริยาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขณะเดียวกันก็จะเป็นตัวระเหยกรดอิสระที่ยังเหลืออยู่ โดยมีช่องระบายอากาศอยู่ด้านบนข้าง พร้อมกับมีทางสำหรับปล่อยไอน้ำเข้าทางข้างล่าง เพื่อเป็นตัวให้ความร้อนและทดแทนน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการระเหย



รูปที่ 20 แผนผังแสดงขั้นตอนของกระบวนการผลิตสารส้มจากแร่หินสบู

ตารางที่ 36 แสดงข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบขบวนการผลิต

ข้อมูลที่ออกแบบ	ชนิดหรือจำนวน
ชนิดของแร่ที่ใช้	แร่หินสบูหรือเทียบเท่า
เปอร์เซ็นต์อลูมินา	35.0 %
เปอร์เซ็นต์เฟอร์ริกออกไซด์	0.25 %
ขนาดของเม็ดแร่	ผ่านร่งขนาด 200 เมชได้
อุณหภูมิที่เผา	700 °ซ
ระยะเวลาที่เผา	30 นาทีต่อแร่ดิบ 15 กรัม ต่อพื้นที่ผิว 25 ซม <sup>2</sup>
ปริมาณกรดที่ใช้ต่อปริมาณสมมูลย์	98 %
ความเข้มข้นของกรด	46.4 %
ระยะเวลาของปฏิกิริยา	120 นาที
อุณหภูมิของปฏิกิริยา	120 °ซ
ผลผลิตอลูมินา	93 %
ผลผลิตของเหล็ก	95 %

ของเหลวที่ไค้จากถังปฏิกรณ์ใบที่ 3 นี้ มีลักษณะข้นและหนืดต้องผ่านเข้าไปในถังผสม ซึ่งมีการเติมน้ำเพิ่มเติมในปริมาณที่พอค้กับสารส้มชนิด 16 % อลูมินา หลังจากนั้น ของเหลวจะถูกสูบผ่านเครื่องกรอง น้ำใสที่ไค้จะไหลลงบนลานตาก เพื่อปล่อยให้แห้งตัวจนแข็ง ส่วนตะกอนจะนำมาล้างเพื่อแยกเอาอลูมิเนียมซ้ดเฟคออกให้หมดโดยใช้น้ำร้อนจาก Steam Condensate เครื่องมือที่ไค้เป็นแบบ Counter Current Decantation ต่ออนุกรมกัน 2 ตัว ของแข็งที่ไค้จะทิ้งเป็น waste ส่วนสารส้มที่ไค้จะนำไปบค้ให้เป็นก้อนเล็กกลง แล้วบรรจุเพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

### การคำนวณมวลสมดุล

ในการออกแบบขบวนการผลิตในชั้นอุตสาหกรรม ใช้ข้อมูลค้ต่อไปนี้ สารส้มที่ผลิตได้เป็นสารส้มก้อนชนิดที่ไค้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม มีคุณภาพตาม

มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม

กำลังผลิตของโรงงาน	30000	ตัน/ปี
ทำงานปีละ	300	วัน
คิดเป็นกำลังผลิตต่อวัน	100	ตัน
หรือเทียบเท่ากับกำลังการผลิตให้โรงงานทำงานวันละ	6.25	ตัน/ช.ม.
โดยแบ่งการทำงานออกเป็น	16	ช.ม.
ระบบของการผลิตเป็นแบบ	2	กะ
	Continuour Process	
ระยะเวลาของปฏิกริยารวม	2	ช.ม.
ให้ตั้งปฏิกรณ์ต่ออนุกรมกันจำนวน	3	ถัง
1. <u>ปริมาณวัตถุดิบที่ไค้</u>		
1.1 <u>แร่หินสบู</u>		
อัตราการผลิตสารส้ม	6.25	ตัน/ช.ม.

ปริมาณออกซิเจนในสารส้ม	=	16	%
คิดเทียบเป็นปริมาณออกซิเจน	=	1	กัณ/ช.ม.
แร่หินสปือออกซิเจน	=	35	%
ผลผลิต	=	93	%
คิดเป็นแร่หินสปือ	=	3.072	กัณ /ช.ม.

### 1.2 กรดซัลฟริก

จากสมการ (1)

น้ำหนักของกรดที่ใช้ต่อออกซิเจน	=	$\frac{3 \times 98}{102} = 2.8823$
ให้กรดมีความเข้มข้น	=	98 %
ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิห้อง	=	1.836
คิดเป็นปริมาณกรด 98%	=	1.602 มล/ออกซิเจน 1 กรัม
ปริมาณกรดที่ใช้	=	$1.602 \times 100 \times 0.98$
	=	1570 ลิตร/ช.ม.
หรือ	=	2.882 กัณ/ช.ม.

### 1.3 ปริมาณน้ำ Q1

ต้องการให้กรดมีความเข้มข้น	=	46.4 %
ปริมาณน้ำที่เติม	=	$\frac{(1570 \times 98) - 1570}{46.4}$
	=	1746 ลิตร/ช.ม.

### 1.4 กำหนดหาปริมาณน้ำ Q2

ปริมาณออกซิเจนที่ผลิตได้	=	1	กัณ/ช.ม.
คิดเทียบเป็นออกซิเจนในซัลเฟต	$\frac{1 \times 342}{102} =$	3.529	กัณ/ช.ม.
สมมุติว่าสิ่งเจือปนอื่นน้อยมาก ดังนั้นน้ำหนักที่เหลือเป็นน้ำผลิต			
ปริมาณน้ำในสารส้ม	=	2.8971	กัณ/ช.ม.
Q 2	=	$2897.1 - 1.746 =$	1151 ลิตร/ช.ม.

### 1.5 การคำนวณเพื่อตรวจสอบปริมาณเหล็กในสารส้ม

ปริมาณเฟอริกออกไซด์ในแร่หินส้ม	=	0.25 %	
เหล็กเกิดปฏิกิริยามากที่สุด	=	100 %	
ปริมาณทั้งหมด	=	$\frac{3072 \times 0.25 \times 0.7}{100}$	
	=	5.376	กก./ช.ม.
ปริมาณสารส้มที่ผลิตได้	=	6.25	ตัน/ช.ม.
คิดเป็นปริมาณเหล็ก	=	$\frac{5.376}{6250} \times 100$	
	=	0.086 %	
ซึ่งยังต่ำกว่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ 0.1 %			
จึงไม่ต้องกำจัดเหล็ก			

### การคำนวณความร้อนสมมูล

#### 1. ความร้อนเนื่องจากกรรทำปฏิกิริยากับน้ำ

ปริมาณกรร	2882	กก./ช.ม.
คิดเป็นจำนวนโมล	29.4	ก.โมล/ช.ม.
Heat of solution	14	ก.แคลอรี/โมล
คิดเป็นปริมาณความร้อน	411600	ก.แคลอรี/ช.ม.

#### 2. ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี

กำลังผลิตสารส้ม	6.25	ตัน/ช.ม.
คิดเป็นอุณหภูมิเนี่ยมซัลเฟต	3.3529	ตัน/ช.ม.
หรือ	9.80	กก.-โมล/ช.ม.
Heat of reaction	118.7	ก.แคลอรี/โมล
คิดเป็นปริมาณความร้อน	1163000	ก.แคลอรี/ช.ม.

## 3. ความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิหน้า

อุณหภูมิของน้ำ	25	°ซ
เพิ่มให้เป็น	120	°ซ
ปริมาณน้ำ	1746	ลิตร/ช.ม.
ความร้อนจำเพาะ	1	แคลอรี/กรัม/ซ
ปริมาณความร้อนที่ใช้	165870	ก.แคลอรี/ช.ม.

## 4. ความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของกรก

ปริมาณกรก	2.882	ตัน/ช.ม.
Mean Heat capacity	0.5	แคลอรี/กรัม/ซ
อุณหภูมิเดิม	25	°ซ
เพิ่มอุณหภูมิให้เป็น	120	°ซ
ความร้อนที่ใช้	136895	ก.แคลอรี/ช.ม.

## 5. ความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของแร่หินสบู

ปริมาณแร่หินสบู	3072	กก./ช.ม.
Mean Heat capacity	0.2	แคลอรี/กรัม/ซ
คิดจากค่าเฉลี่ยของซิลิกาและอลูมินาที่มีอยู่ในแร่หินสบู		
อุณหภูมิเดิม	25	°ซ
เพิ่มอุณหภูมิเป็น	120	°ซ
ความร้อนที่ใช้	58368	ก.แคลอรี/ช.ม.

ถ้าให้ความร้อนที่สูญเสียไปเป็น 0 จะพบว่า ความร้อนจากปฏิกิริยามีมากเพียงพอที่จะรักษาอุณหภูมิของถังทั้ง 3 ใบให้มีอุณหภูมิ 120°ซ เป็นเวลา 2 ช.ม. แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากอุณหภูมิของถังสูงมาก (120°ซ) ปริมาณความร้อนที่สูญเสียย่อมมีมาก ในการออกแบบระบบจริง จึงควรจะต้องศึกษาเรื่องความร้อนนี้ใหม่ โดยการหาข้อมูลเพิ่มเติมจากการทดลองจริง

## การออกแบบหน่วยการทำงาน

ในการออกแบบหน่วยการทำงาน (Unit Operation Design) ของโรงงานผลิตสารส้มจากแร่หินสบู ไม่สามารถออกแบบในขั้นสมบูรณ์ได้ เนื่องจากการออกแบบดังกล่าว จำเป็นต้องอาศัยวิศวกรสาขาอื่น เช่น โยธา ไฟฟ้า เครื่องกล และสถาปนิก เป็นต้น ดังนั้น การออกแบบในขั้นนี้จึงเป็นเพียงการออกแบบขั้นต้น เพื่อที่จะหาค่าตอบว่า โครงการนี้สมควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมหรือไม่ถ้าสมควร จะศึกษาในด้านไหน การศึกษาในโรงงานทดลองจำเป็นหรือไม่เพียงไร

เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบนี้ได้มาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีขอบเขตของการทดลอง ข้อมูลบางอย่างไม่สามารถหาได้ ดังนั้น ส่วนใหญ่จะอาศัยการคำนวณเป็นหลัก

ในการประมาณราคาของหน่วยการผลิตต่าง ๆ ทำได้อย่างคร่าว ๆ เท่านั้น โดยการหาราคาจากกราฟในหนังสือต่าง ๆ แล้วใช้ Correction factor ดังนี้

Correction for time ใช้ Index ของ Chemical Engineering Plant Cost Indexes (CPI) โดยมีค่าในแต่ละปีดังนี้

1957	98.5
1967, มกราคม	109.1
1977, มกราคม	199.3

Correction for location ให้ Correction factor ของ

ประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา 1.0

### 1. เครื่องบดหยาบ (Crushing)

ความสามารถในการทำงาน	3072	กก./ชม.
รายละเอียดของเครื่องมือ เป็นเครื่องบด 2 เครื่องต่อกัน สามารถบดแร่จากขนาดประมาณ 12 นิ้ว เป็นขนาดประมาณ	$\frac{1}{4}$	นิ้ว
ออกแบบให้มีความสามารถใช้งาน	10	ตัน/ชม.



โดยการบดแร่	2	ครั้ง
ราคาในปี 1967	3000	\$
ราคาในปี 1977	109606	บาท
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	10	กิโลวัตต์

ที่มาของข้อมูล Plant Design and Economics for Chemical Engineering  
(PDE for CE), Peters & Timmerhaus. p. 477

### 2. เครื่องบดละเอียด (Grinding)

ให้ประสิทธิภาพของเครื่องบด 80 % ของแร่ที่บดผ่านแรง 200 เมชได้  
ความสามารถในการทำงาน  $\frac{3072}{0.8} = 3840$  กก./ชม.

รายละเอียดของเครื่องมือ สามารถบดแร่ขนาด  $\frac{1}{2}$  นิ้วให้ต่ำกว่า 200 เมช

ราคาในปี 1967	40000	\$
ราคาในปี 1977	1461411	บาท
พลังงานที่ใช้ประมาณ	15	กิโลวัตต์

ที่มาของข้อมูล PDE for CE. p. 501

### 3. เครื่องคัดฝุ่น (Cyclone)

ปริมาณฝุ่นที่ตกลงจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องบดละเอียด

ให้ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้น	2	%
ปริมาณฝุ่นที่ตกลง	61.44	กก./ชม.
Safety factor	2	
ปริมาณฝุ่นทั้งหมด	122.88	กก./ชม.
หรือเท่ากับ	2.048	กก./นาที

รายละเอียดของเครื่องมือ เป็นแบบ Dust collector. Cloth bag with  
electric motor shaker

ให้ปริมาณฝุ่นเท่ากับ	30	กรัม/ม <sup>3</sup>
ปริมาณอากาศ	68.26	ม <sup>3</sup>
หรือ	2410	ฟ <sup>3</sup>
ออกแบบให้ปริมาณอากาศ	2500	ฟ <sup>3</sup> /นาที
ราคาในปี 1967	2600	\$
ราคาในปี 1977	94991	บาท
พลังงานที่ใช้	5	กำลังม้า
ที่มาของข้อมูล	PDE for CE. p. 503	

#### 4. แร้ง

ความสามารถในการใช้งาน	3072	กก./ชม.
รายละเอียดของเครื่อง Double deck, vibrating screen มีพื้นที่	2 X 4	ฟ <sup>2</sup>
ราคาในปี 1967	1300	\$
ราคาในปี 1977	47495	บาท
พลังงานที่ใช้	1	กำลังม้า

#### 5. เตาเผา Calcinator

ความสามารถในการทำงาน	3072	กก./ชม.
อุณหภูมิที่เผา	700	°ซ
ระยะเวลา	30	นาที
Mean heat capacity ของแร่หินสับ	0.18	แคลอรี/กรัม/°ซ
ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้	= 3072 x (700-30) x 0.18	
	= 370,483	ก.แคลอรี/ชม.
ให้ความร้อนที่สูญเสียในเวลา 30 นาที ให้เท่ากับ 20 %		
ปริมาณความร้อนทั้งหมด	= 463104	ก.แคลอรี/ชม.
หรือ	= 1,837,700	บีทียู/ชม.

คิดเป็นพลังงานไฟฟ้า	540	KWH
รายละเอียดของเครื่องมือ เป็นเตาเผาชนิดที่สัมผัสกับความร้อนโดยตรง		
ราคาในปี 1957	10000	\$
ราคาในปี 1977	404670	บาท

ที่มาของข้อมูล Cost Engineering in the Process Industries, Chilton, p.57

### 6. ถังปฏิกรณ์ (Reactors)

Retention time ของถังปฏิกรณ์ รวม	2	ชม.
ผลิตสารส้มได้	12.5	ตัน
คิดเป็นอนุมินา	2	ตัน
วัตถุดิบที่ใช้ เป็นแร่หินสบู	6.144	ตัน
กรดซัลฟริก 98 % จำนวน	3.140	ม <sup>3</sup>
ปริมาณน้ำ	3.492	ม <sup>3</sup>
คิดเป็นปริมาตรรวม	8.751	ม <sup>3</sup>
ให้ปริมาตรใช้งาน	70	%
ปริมาตรรวม	12.50	ม <sup>3</sup>

ในการออกแบบถังปฏิกรณ์ที่เป็นระบบต่อเนื่อง ควรออกแบบให้ถังปฏิกรณ์ทำงานใกล้เคียงกับแบบ Complete-Mix Plug Flow Reactor ซึ่งจะช่วยให้ผลผลิตดีกว่าระบบ Continuous เมื่อคำนึงถึงหลักการทำงานและหน้าที่ของแต่ละถัง ดังได้กล่าวมาแล้ว ในบทที่ 9 จึงออกแบบให้ถังปฏิกรณ์มีจำนวน 3 ถัง ต่ออนุกรมกัน ขนาดของถังเท่ากัน ปริมาตรของแต่ละถัง

ขนาดของถัง (ม.), เส้นผ่าศูนย์กลาง x สูง	1.50 x 2.40	
คิดเป็นปริมาตรจริง	4.24	ม <sup>3</sup>
หรือเท่ากับ	1120	แกลลอน
จำนวนถัง	3	ถัง

รายละเอียดของถัง เป็นถังทรงกระบอกทำด้วยเหล็ก ภายในหมักด้วยแกวทนมกรด และ  
ความร้อน มีเครื่องกวนเป็นแบบใบพัดทำด้วยเหล็กโรสนิม

ราคาของถังคอปเปอร์ (รวมเครื่องกวน) มกราคม, 1967	11300	\$
ราคาของถังคอปเปอร์ ในปี 1977	412848	บาท
ที่มาของข้อมูล PDE for CE p 477		

### 7. ถังผสม (Mixing Tank)

Retention Time ของถังต้องมากพอที่จะให้การทำงานของเครื่องกรองทำงานได้โดย  
สะดวก แต่ต้องไม่มากจนทำให้สารตกตะกอน

ให้ Retention Time	10	นาที
ปริมาตรใช้งาน	$\frac{(8.751 + 1.151)}{2} \times \frac{10}{120}$	
=	0.46	ม <sup>3</sup>
ให้ Safety factor	2	
ปริมาตรจริง	0.92	ม <sup>3</sup>
ออกแบบขอให้มีขนาด	1	ม <sup>3</sup>
หรือ	262	แกลลอน

รายละเอียดของถังเป็นถัง Mixing ทำด้วย Carbon Steel  
เครื่องกวนเป็นใบพัดทำด้วยเหล็กโรสนิม

ราคาในปี 1967	500	\$
ราคาในปี 1977	18267	บาท
ที่มาของข้อมูล PDE for CE. p. 477		

### 8. เครื่องกรอง

ปริมาตรของของเหลวทั้งหมด	$= \frac{8.751}{2} \times 1.151 = 5.53$	ม <sup>3</sup> /ชม.
ความสามารถในการทำงาน	5.53	ม <sup>3</sup> /ชม.
หรือเท่ากับ	1461	แกลลอน
ของเหลวที่มีปริมาณของแข็งอยู่	$0.65 \times 3072 = 1.997$	กก./ชม.

คิดเป็นปริมาณของแข็ง	36.1	%
รายละเอียดของเครื่องกรอง เป็นเครื่องกรองแบบ Centrifugal Filter, Continuous Solid Bowl. ทำด้วยเหล็กโรสนิม		
ความสามารถในการแยกของแข็ง	33.3	กก./นาที่
หรือประมาณ	0.4	ฟ <sup>3</sup> /นาที่
ออกแบบให้กำจัดของแข็งได้	0.6	ฟ <sup>3</sup> /นาที่
เส้นผ่าศูนย์กลางของจาน	18	นิ้ว
พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์	15	กำลังม้า
ราคาเฉพาะเครื่องกรองปี 1967	15000	\$
ราคาในปี 1977	548029	บาท
ที่มาของข้อมูล PDE for CE p. 493		

#### 9. เครื่องล้างตะกอน

ปริมาณตะกอน	1997	กก./ช.ม.
ชนิดของเครื่องมือเป็นแบบ Counter Current Decantation		
ประกอบด้วยถัง 2 ใบ ต่ออนุกรมกัน มีปั๊มดูดตะกอน 2 เครื่อง		
เนื่องจากไม่สามารถหาข้อมูลมาออกแบบได้		
สมมุติให้ราคาของเครื่องเป็น 3 เท่าของ Mixing Tank		
ราคาเครื่องล้างตะกอน	54801	บาท

#### 10. เครื่องบดสารส้ม

ความสามารถในการทำงาน	6.25	ตัน/ช.ม.
ชนิดของเครื่องมือเป็นแบบ Jaw Crusher สามารถบดสารส้มขนาดไม่เกิน 2 ฟุต		
ให้มีขนาดประมาณ 1 1/4 นิ้ว		
Design capacity	10	ตัน/ช.ม.
ราคาในปี 1967	3000	\$
ราคาในปี 1977	109606	บาท

เริ่มพลังงานไฟฟ้าที่ใช้	10	แรงแม่
ที่มาของข้อมูล PDE for CE. p. 500		
11. <u>เครื่องบรรจุสารส้มลงในถุง</u>		
ลักษณะเป็นเครื่องบรรจุ พร้อมตาชั่ง และที่เย็บปากถุง	ราคา 30000	บาท
ที่มาของข้อมูล PDE for CE. p. 656		
12. <u>ลานตากแห้ง</u>		
ความสามารถในการทำงาน	5.53	ม <sup>3</sup> /ช.ม.
ความหนาของสารส้ม	0.03	ม.
ระยะเวลาในการให้สารส้มแข็งตัว	2	ช.ม.
พื้นที่ต้องการ	$\frac{5.53 \times 2}{0.03} = 368$	ม <sup>2</sup>
ลักษณะของลานตาก	เป็นลานซีเมนต์คอนกรีตเสริมเหล็ก หน้า 4 นิ้ว พื้นี่ของแต่ละลานเท่ากับ 30 ม <sup>2</sup> ทั้งหมด 13 ลาน คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 390 ตารางเมตร	
ราคาในปี 1967	2.10	\$ ต่อ ฝ <sup>2</sup>
ราคาในปี 1977	76.72	บ/ฝ <sup>2</sup>
คิดเป็นราคาทั้งหมด	309,098	บาท
ที่มาของข้อมูล PDE for CE. p. 761		
13. <u>พื้นที่ของโรงงาน</u>		
พื้นที่บริเวณมคแร	200	ตารางวา
พื้นที่บริเวณดังปฏิกรณ์	100	ตารางวา
พื้นที่บริเวณเครื่องกรอง, บค และบรรจุ	100	ตารางวา
พื้นที่ของลานตาก	100	ตารางวา
พื้นที่เก็บวัตถุดิบ	200	ตารางวา
พื้นที่เก็บวัตถุดิบสำเร็จรูป	200	ตารางวา

รวมพื้นที่ใช้งาน	900	ตารางวา
ให้พื้นที่ทั้งหมดเป็น	5	เท่า
พื้นที่ทั้งหมด	11.25	ไร่
อย่างน้อยที่สุดต้องมีพื้นที่	12	ไร่

ในการเลือกที่ตั้งของโรงงานพบว่า ในการผลิตสารส้ม 1 ตัน ใช้แร่หินสมูเพียง 0.49 ตัน และกรด 0.46 ตัน แหล่งจำหน่ายสารส้มและแหล่งรับซื้อกรด จะอยู่ในบริเวณ กรุงเทพฯ เมื่อเปรียบน้ำหนักกับแร่หินสมูแล้ว พบว่า สถานที่ตั้งโรงงานควรจะอยู่ในแหล่งของที่จำหน่ายสารส้ม มากกว่าที่จะอยู่ในแหล่งของแร่หินสมู

ราคาที่ดินต่อไร่	80,000	บาท
ราคาที่ดินทั้งหมด	960,000	บาท

#### 14. จำนวนแรงงานที่ใช้

ในการทำงาน 1 กะ จำนวนคนงานทั้งหมดควรมี ดังนี้

คนงานคุมเครื่องตัดแร่เข้าเครื่องบด	1	คน
คนงานคุมเครื่องบดหยาบและบดละเอียด	1	คน
คนงานคุมเครื่องคัดฝุ่นและแร่	1	คน
คนงานคุมเตาเผา	1	คน
คนงานคุมถังปฏิกรณ์	3	คน
คนงานคุมถังผสม	1	คน
คนงานคุมเครื่องกรอง	1	คน
คนงานทำหน้าที่หีบสารส้มที่แข็งแล้วและโกยเข้าเครื่องบด	5	คน
คนงานคุมเครื่องบรรจุ	3	คน
ช่วยงานทั่วไปและทำความสะอาด	3	คน
รวมคนงานทั้งหมด	20	คน
เงินเดือนคนละ	900	บาท
เป็นเงินต่อเดือน	18000	บาท

วิศวกรผู้จัดการ 1 คน เงินเดือน	6000	บาท
วิศวกรควบคุมโรงงาน 1 คน เงินเดือน	3000	บาท
วิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา 2 คน เงินเดือน	6000	บาท
รวมเป็นเงินเดือนทั้งหมด	33,000	บาท/เดือน
หรือเทียบเท่ากับ	137.50	บาท/ชม.

Calculation for total capital investment

Fixed - capital investment

เครื่องบดหยาบ	109606	บาท
เครื่องบดละเอียด	1461411	บาท
เครื่องสกัดฝุ่น	94991	บาท
แรง	47495	บาท
เตาเผา	404670	บาท
ถังปฏิกรณ์ 3 ตัว	1238544	บาท
ถังผสม	18267	บาท
เครื่องกรอง	309098	บาท
เครื่องล้างตะกอน	54801	บาท
เครื่องบดสารส้ม	109606	บาท
เครื่องบรรจุ	30000	บาท
ราคาที่ดิน	<u>960000</u>	บาท
รวมราคาทั้งหมด	<u>4838489</u>	

เงินลงทุนชนิดอื่นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Fixed - capital cost

ค่าก่อสร้างตัวโรงงาน	7	%
ค่าปรับปรุงพื้นที่บริเวณโรงงาน	5	%
Service facilities	10	%



Engineering and supervision	<u>10</u>	%
รวม	<u>32</u>	%
Fixed - capital investment	715425	บาท
Working capital investment	15 % ของ Total capital investment	
	1067314	บาท
Total capital investment	8182739	บาท
คิดค่าเสื่อมราคา	10	%
Total capital investment หรือเท่ากับ	818273.90	บาท/ปี
	170.47	บาท/ชม.
<u>คำนวณหาต้นทุนการผลิต</u>		
1. <u>แรงแหินสับ</u>		
ราคาของแรงแหินสับ (รวมค่าขนส่งภายในเขต กทม.)	700	บาท/ตัน
ปริมาณที่ใช้	3.702	ตัน/ชม.
คิดเป็นราคาแรงแหินสับ	2150.4	บาท/ชม.
2. <u>กรรขั้วเหล็ก</u>		
ราคาขายรวมทั้งค่าขนส่งถึงโรงงาน	1850	บาท/ตัน
ปริมาณที่ใช้	2.882	ตัน/ชม.
คิดเป็นราคา	5334.70	บาท/ชม.
3. <u>ค่างานแรงงาน</u>		
เงินเดือนคนงาน	137.50	บาท/ชม.
4. <u>ค่าไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์ของเครื่องต่าง ๆ</u>		
เครื่องบดหยาบ	10	กำลังม้า
เครื่องบดละเอียด	15	กำลังม้า

เครื่องคักฝุ่น	5	กำลังม้า
ถังปฏิกรณ์เครื่องละ 2 กำลังม้า, 3 เครื่อง	6	กำลังม้า
ถังผสม	1	กำลังม้า
เครื่องกรอง	5	กำลังม้า
เครื่องบดสารส้มและเครื่องบรรจุรวม	10	กำลังม้า
รวมกำลังม้าทั้งหมด	52	กำลังม้า
คิดเป็นหน่วยกำลังไฟฟ้า	39	กิโลวัตต์
เตาเผาไฟฟ้ามีกำลังงานเทียบเท่ากับ	540	กิโลวัตต์/ชม.
กำลังไฟฟ้ารวม	579	กิโลวัตต์/ชม.
ราคาไฟฟ้าหน่วยละ	0.50	บาท
คิดเป็นเงิน	289.50	บาท/ชม.
จำนวนไฟฟ้าต่อสารส้ม 1 ปอนด์	0.0421	กิโลวัตต์
<u>5. ปริมาณไอน้ำ</u>		
ให้ปริมาณไอน้ำที่ใช้เท่ากับ 3.4 ปอนด์ ต่อปอนด์ของสารส้ม		
ที่มาของข้อมูล PDE for CE. p. 133		
ปริมาณสารส้มที่ผลิตได้	6.25	ตัน/ชม.
ปริมาณไอน้ำที่ใช้	21.25	ตัน/ชม.
ราคาไอน้ำขนาด 100 ปอนด์/นิ้ว <sup>2</sup>	10	บาท/1000ปอนด์
คิดเป็นเงินค่าไอน้ำ	467.50	บาท/ชม.
<u>6. ค่าบำรุงรักษา</u>		
คิดเท่ากับ 6 % ของ Fixed - capital investment	426925	บาท/ปี
หรือเท่ากับ	88.94	บาท/ชม.
<u>7. Plant overhead cost</u>		
คิดเท่ากับ 50 % ของค่าแรงงาน ค่าบำรุงรักษา และค่า Supervision		
คิดเป็นเงิน	187.34	บาท/ชม.

8. General expense

คิด 50% ของ overhead cost 93.67 บาท/ช.ม.  
 ที่มาของข้อมูล ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่คิดเป็น % ใช้จ่ายของ CFI. จาก Chemical  
 Engineering, (Feb. 15, 1963), pp. 143-158

คิดเป็นต้นทุนการผลิต	8771.25	บาท/ช.ม.
หรือเท่ากับ	1403.40	บาท/ตัน
ราคาขายสารส้ม	1700	บาท/ตัน
กำไร	296.60	บาท/ตัน
หรือ	8898000	บาท/ปี

การประเมินความเหมาะสมของโครงการ (Project evaluation)

## 1. Rate of return on investment, after tax.

Initial capital investment	8182739	B/Yr.
Profit before tax	8898000	B/Yr.
Tax, 30%	2669400	B/Yr.
Profit after tax	6228600	B/Yr.
Rate of return	76.12	%

## 2. Discount cash flow (DCF)

Initial fixed capital investment	7115425	B
Profit after tax for each year	6228600	B
Working capital investment	1227411	B
Assume service life	5	Yr.
Salvage value 10% of total fixed capital investment	818274	B

$$\text{Cash flow for income} = (6228600) \cdot \left[ \frac{(1+i)^4 + (1+i)^3 + (1+i)^2 + (1+i) + 1}{(1+i) + 1} \right] \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Cash flow for initial investment} = (7115425) (1+i)^5 - 1227411 - 818274 \dots \dots \dots (2)$$

(1) = (2) and trial and error method,  $i = 0.846$

Discount cash flow rate of return 84.60 %

### 3. Present value

Rate of interest 15 %

For 5 years of service life, present value of profit

$$= (6228600) \left[ \frac{1}{1.15} + \frac{1}{(1.15)^2} + \frac{1}{(1.15)^3} + \frac{1}{(1.15)^4} + \frac{1}{(1.15)^5} \right]$$

$$= 20,879,229 \quad \text{B}$$

Total capital investment 8182739 B

Present worth 12,696,490 B

### 4. Payout period

Depreciation 10 %

Interest on total capital investment 15 %

Service life 5 yr.

Depreciable fixed capital investment 7115425 B

Interest 6137054 B

Profit after tax 6228600 B/yr

$$\text{Payout period} = \frac{7115425 + 6137054}{6228600 + 818274}$$

$$= 1.88 \quad \text{yr}$$

สรุปผลการประเมินความเหมาะสม และต้นทุนการผลิต

1. ในการผลิตสารส้มชนิด 16 % อลูมินาจำนวน 1 เมตริกตัน ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้มีดังนี้

แรหินสนุ	491.52	กก.
กรคซัลฟูริก (98 %)	461.12	กก.
น้ำในปฏิกริยา	463.52	กก.
ต้นทุนการผลิต	1403.4	บาท
ราคาขาย	1700.00	บาท
กำไร	296.60	บาท

2. ต้นทุนการผลิตจะขึ้นอยู่กับราคาของวัตถุดิบเป็นสำคัญ ค่าต้นทุนการผลิตในระบบจริง คาดว่าจะต่ำกว่านี้เล็กน้อย เนื่องจากราคาของแรหินสนุมีแนวโน้มที่จะต่ำกว่า 700 บาท/ตัน และปริมาณไอน้ำที่ใช้ในขบวนการผลิตนี้ประเมินจากค่าสูงสุด ซึ่งในการคำนวณพบว่าความร้อนนี้อาจจะไม่ต้องใช้หรือใช้เพียงเล็กน้อย

3. ในการประเมินผลทางเศรษฐกิจพบว่า

Rate of return on investment, after tax	76.12	%
Discount cash flow rate of return	84.60	%
Present value	12,696,490	B
Payout period	1.88	yr

นับว่าเป็นโครงการที่น่าลงทุน และสมควรศึกษาเพิ่มเติม

ข้อเสนอแนะ

การทดลองในชั้นห้องปฏิบัติเพื่อผลิตสารส้มจากแรหินสนุนี้ มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น การทำงานของเครื่องมือที่ทดลองไม่เป็นระบบต่อเนื่อง การควบคุมปริมาณความร้อนทำได้ยากเนื่องจากความร้อนจะสูญเสียมีมากกว่าระบบจริง เป็นต้น

ในการศึกษาเพื่อที่จะตั้งโรงงานผลิตสารส้มในขั้นอุตสาหกรรม จึงขอเสนอให้ทดลองในขั้นโรงงานทดลอง (Pilot Plant Scale) เพื่อให้รู้ซึ่งถึงปัญหาต่อไปนี้

1. ความสามารถของระบบการบดแร่ ประสิทธิภาพ ในระบบจริงจะเป็นอย่างไร มีปัญหาเรื่องฝุ่นหรือไม่

2. Heat load ของเตาเผา และพลังงานที่ใช้

3. ระบบของถังปฏิกรณ์จำเป็นเพียงไรในการใช้ถึง 3 ถัง

4. ถ้าให้ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ที่ความดันสูงประมาณ 3 - 4 บรรยากาศ ผลผลิตอลูมินาจะเป็นอย่างไร ผลผลิตที่สูงขึ้นเพียงพอที่จะไม่ต้องเผาแร่ดิบก่อนหรือไม่

5. ระบบการกรอง ใช้เครื่องกรองอะไรจึงจะเหมาะสมที่สุด

6. ปัญหาการไหลของของเหลวในถังปฏิกรณ์ เนื่องจากมีความหนืดสูง

7. ปัญหาเรื่องการขนส่งแร่ดิบ

8. ตลาดที่แน่นอนของสารส้มที่ผลิตได้