บทที่ 5

วัตถุดิบและกระบวนการผลิตสารส้ม

สารส้มเป็นสารจำพวกเกลือซัลเฟตของอลูมิเนียม ดังนั้นปฏิกิริยาระหว่างแร่ที่มีธาตุอลูมิเนียมกับกรดกำมะถันย่อมมีผลทำให้เกิดสารส้มได้ทั้งสิ้นแร่ที่มีธาตุอลูมิเนียม(Aluminium Bearing Minerials) มีอยู่มากมาย ทั้งนี้รวมทั้ง อลูไนท์ (Alunite $K_2Al_6(OH)_{12}(So_4)_4$) หินที่เกิดจากดินแข็ง (Shales) และดินเหนียวด้วย แต่สารต่างๆ ที่กล่าวมานี้ล้วนแต่มีปริมาณอลูมินาต่ำทั้งสิ้น จึงไม่เหมาะสมแก่การนำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมสารส้ม ดังจะเห็นได้จากปฏิกิริยาของกระบวนการผลิตสารส้มดังนี้

$$Al_2O_3 + 3H_2So_4 \longrightarrow Al_2(So_4)_3 + 3H_2O$$

การผลิตสารส้มเป็นกระบวนการทำปฏิกิริยาทางเคมีของกรดซัลฟุริคกับสารที่มีปริมาณอลูมินาสูง ซึ่งได้แก่ แร่บอกไซท์ , แร่ดิคไคต์ , ดินขาว เป็นต้น

<u>วัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตสารส้ม</u>

โรงงานผลิตสารส้มในประเทศได้รับอนุมัติจากรัฐบาลให้สร้างโรงงานในพ.ศ.2497 -2498 โดยเริ่มทำการผลิตสารส้มจากดินขาวที่มีในประเทศและกรดซัลฟุริค ต่อมาใน พ.ศ. 2499 ได้ทดลองผลิตสารส้มจากอลูมินาไทรไฮเดรท แทนดินขาว ซึ่งโรงงานได้ใช้วิธีนี้ผลิตเรื่อยมาจนกระทั่งปัจจุบัน แต่เนื่องจากอลูมินาไทรไฮเดรทต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ในราคาที่ค่อนข้างสูง และมีโอกาสขาดแคลนได้ ดังนั้นจึงควรพิจารณาวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตสารส้มได้ และมีคุณสมบัติในการทำงานได้ดีเหมือนสารส้มที่ผลิตจากอลูมินาไทรไฮเดรท

1.1 กรดซัลฟุริค

กรดซัลฟุริค เป็นวัตถุดิบที่สามารถผลิตได้ในประเทศไทย ปริมาณที่ผลิตได้มีเพียงพอที่จะใช้ภายในประเทศ ได้เริ่มมีการผลิตกรดซัลฟุริคขึ้นภายในประเทศเมื่อปี พ.ศ 2502 เพื่อเป็นการทดแทนการนำเข้า โดยบริษัท สยามเมมี จำกัด มีกำลังการผลิต 10 ตัน/วัน ต่อมาเมื่อปริมาณความต้องการกรดซัลฟุริคภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น บริษัทฯจึงได้ขยายกำลังการผลิตเป็น 100 ตัน/วัน ขณะเดียวกันก็มีโรงงานผลิตกรดซัลฟุริคเพิ่มขึ้นอีกหลายโรงงาน ทั้งที่ผลิตเพื่อการจำหน่ายและผลิตเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบภายในโรงงาน

เนื่องจากโรงงานผลิตกรดซัลฟุริค เป็นโรงงานที่มีการผลิตเคมีภัณฑ์ชนิดอื่นควบคู่ไปด้วย เช่น ปุ๋ยเคมี สารส้ม โอเลียม ไนโตรเจน และกำมะถันแท่ง ฯลฯ ดังนั้นเงินลงทุนในอุตสาหกรรมประเภทนี้จึงค่อนข้างสูง ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงจำนวนโรงงาน จำนวนเงินทุนและจำนวนคนงาน

ชื่อ	ทุนจดทะเบียน	จำนวนคน
1. บริษัท สยามเมมี จำกัด	40,000,000	41
2.บริษัทอุตสาหกรรมน้ำกรดไทย จำกัด	1,000,000	35
3. บริษัท กรุงเทพเคมี จำกัด	12,000,000	40
4. บริษัท มหาชัยเคมี จำกัด	7,000,000	45
5. บริษัท ยงไทยเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด	30,000,000	15
6. บริษัท สหไพศาลอินดัสทรีย์ จำกัด	20,000,000	75
7. บริษัท ไทยเรยอน จำกัด	-	523
รวม	110,000,000	774

คุณสมบัติทางเคมีของกรดซัลฟุริค เป็นไปตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของกรดซัลฟุริค (98 %)

	Typical	Guaranteed
Sg. Gr. at 15.6 C	1.84	1.84
Concentration	98.6 %	98.0 % Min.
Residue after ignition	0.02 %	0.04 % Max.
Sulphur dioxide	0.002 %	0.004% Max.
Iron as Fe	0.001 %	0.005% Max.
Arsenic	Less than 1 ppm	1 ppm. Max.
Lead	0	5 ppm. Max.

วัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตกรดกำมะถัน คือ กำมะถัน (มีลักษณะเป็นของแข็ง) มีสีเหลืองอ่อนไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เพราะกำมะถันที่พบในประเทศ ในบางจังหวัดทางภาคเหนือ และภาคใต้ มีปริมาณไม่มากพอที่จะทำเป็นอุตสาหกรรมได้

กรรมวิธีผลิตกรดกำมะถันของโรงงานในประเทศส่วนใหญ่ใช้วิธีเผากำมะถันให้เป็นก๊าซซัลเฟอร์ไตรอ๊อกไซด์ โดยมีแวเนเดียมเพนต์อ๊อกไซด์ (V_2O_5) เป็นตัวช่วยทำปฏิกิริยาแล้วจึงทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$S + O_2 \longrightarrow SO_2 \quad \text{----------(1)}$$

$$SO_2 + 1/2\ O_2 \longrightarrow SO_3 \quad \text{----------(2)}$$

$$H_2O + SO_3 \longrightarrow H_2SO_4 \quad \text{----------(3)}$$

$$H_2SO_4\ (dil) + H_2O + SO_3 + SO_2 \longrightarrow 2H_2OSO_4(conc) + SO_2 \quad \text{----------(4)}$$

ขั้นตอนในการผลิตมีดังนี้

- นำกำมะถัน (Sulphur) มาหลอมเหลวโดยใช้น้ำเพื่อแยกเอาของสกปรกที่ติดมากับกำมะถันออกไปก่อน แล้วผ่านเข้าหม้อกรอง

-นำกำมะถันเหลวจากหม้อกรองฉีดเข้าเตากำมะถันโดยใช้อากาศแห้ง จะเกิดปฏิกิริยาตามสมการข้อ (1) คือได้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

- ผ่านก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไปยังหม้อน้ำเพื่อลดปริมาณความร้อนให้เหลือประมาณ 425 - 440 องศาเซลซียส

- ผ่านก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งลดอุณหภูมิแล้วไปยังหอปฏิบัติการ ซึ่งมีอยู่ 4 ชั้น แต่ละชั้นบรรจุ Vanadium Pentoxide Cataylst (V_2O_5) จะเกิดปฏิกิริยาตามสมการตามข้อ (2) ได้ก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)

- ลดอุณหภูมิ (SO_3) โดยผ่านไปยังหอลดความร้อนให้เหลือเพียง 150 องศาเซลเซียส แล้วผ่านไปยังหอดูดซึมตัวที่ II (Absorbtion Tower II) เพื่อทำปฏิกิริยากับน้ำตามสมการข้อ (3)

- ทำกรดกำมะถันให้เข้มข้น 99 % หรือ Oieum ตามปฏิกิริยาข้อ 3 ข้อ 4

- นำกรดที่ผลิตได้ไปทำให้เย็นโดยดูดความชื้นของอากาศ (Drying Tower) จะได้อากาศแห้งเพื่อป้อนเข้าเตาเผา ในขณะเดียวกันก็จะได้กรดกำมะถันเข้มข้น 98 % ซึ่งพร้อมที่จะนำไปจำหน่ายได้

คุณสมบัติของกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ชนิดเข้มข้น 98 %

- ตามปกติมีลักษณะเป็นของเหลวคล้ายน้ำมัน
- ไม่มีสี
- หนักเกือบ 2 เท่าของน้ำ
- มีน้ำปนอยู่ประมาณ 4 %
- เป็นกรดแรงและเป็นตัวเติมออกซิเจนอย่างดี
- เป็นตัวดูดน้ำให้แห้ง (Dehydrating agent)

ตลาดในประเทศปริมาณความต้องการกรดกำมะถันในขึ้นอยู่กับความต้องกรของอุตสาหกรรมเคมีอื่นๆเพราะกรดกำมะถันที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อการผลิตสารส้มและปุ๋ยเคมี เป็นต้น ส่วนที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ น้ำตาล .แบตเตอรี่ สบู่ สิ่งทอ และอุตสาหกรรมเหล็กเส้น ฯลฯ สำหรับผู้ใช้รายใหญ่ก็ได้แก่ บริษัทสารส้มนนทบุรี จำกัด นอกจากนี้โรงงานผู้ผลิตก็จะนำกรดกำมะถันส่วนหนึ่งไปใช้เพื่อการผลิตปุ๋ยเคมี สิ่งทอ และสารส้มของโรงงานเอง เช่น บริษัทปุ๋ยเคมี จำกัด ซึ่งเป็นรัฐวิสาหกิจ บริษัทไทยเรยอน จำกัด ซึ่งนำไปใช้ในการฟอกย้อมสิ่งทอ

เนื่องจากตลาดของกรดกำมะถัน เป็นตลาดภายในประเทศที่มีการแข่งขันในลักษณะพิเศษ กล่าวคือ จะมีการแข่งขันกันในด้านราคาเมื่อจำหน่ายให้กับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป แต่จะมีความสัมพันธ์ทางด้านการตั้งราคาและแบ่งสรรโควต้าระหว่างกันเมื่อจำหน่ายให้กับผู้ใช้รายใหญ่ ดังนั้นลักษณะตลาดของกรดกำมะถันจึงอยู่ในสภาพกึ่งแข่งขันกึ่งผูกขาด

สำหรับการจำหน่ายกรดกำมะถันนั้น ผู้ผลิตจะจำหน่ายให้กับตัวแทนจำหน่ายส่วนหนึ่งและอีกส่วนหนึ่งจะจำหน่ายโดยตรงให้กับผู้ใช้รายใหญ่ ส่วนราคาก็ย่อมแตกต่างกันไประหว่างผู้ซื้อทั่วไปกับผู้ซื้อประจำและซื้อเป็นปริมาณมาก สำหรับผู้ซื้อรายย่อยส่วนใหญ่จะซื้อผ่านตัวแทนจำหน่าย เพราะสะดวกกว่า

ปัญหาการตลาดของกรดกำมะถันมีดังนี้

- ปัญหาราคาจำหน่าย

ในเรื่องนี้ผู้ผลิตได้รวมตัวกันจัดตั้ง บริษัท ค้าวัสดุเคมี จำกัด เพื่อเป็นตัวกลางในการต่อรองราคา ทำให้ตลาดอยู่ในการแข่งขันที่ไม่สมบูรณ์ กล่าวคือ ผู้ผลิตแข่งขันกันในด้านตลาด แต่มีความสัมพันธ์ในการตั้งราคาจึงทำให้องค์การสารส้ม กระทรวงอุตสาหกรรมซึ่งเป็นผู้ใช้กรดกำมะถันรายใหญ่ เพื่อผลิตสารส้มสำหรับใช้ในกิจการประปาทั่วประเทศ ไม่ได้รับความเป็นธรรมในด้านราคาจากการรวมตัวกันของผู้ผลิตเอง ทั้ง ๆที่ผู้ผลิตเองก็มุ่งผลิตเพื่อจำหน่ายให้องค์การสารส้มเป็นส่วนใหญ่ จึงเป็นการไม่ยุติธรรม

- ปัญหาการแข่งขัน ดังได้กล่าวแล้วว่าตลาดของกรดกำมะถันเป็นตลาดในประเทศ ตลาดจึงไม่กว้างพอ ประกอบกับมีการส่งออกน้อย เพราะต้องแข่งขันกับผู้ผลิตรายใหญ่ ส่วนผู้ใช้รายใหญ่ภายในประเทศก็มีโรงงานผลิตกรดกำมะถันใช้เอง เช่น บริษัท ไทยเรยอน จำกัด บริษัท ปุ๋ยเคมี จำกัด ผู้ผลิตต้องหาตลาดใหม่

- ปัญการขนส่ง จากการที่รัฐบาลประกาศขึ้นราคาจำหน่ายน้ำมันชนิดต่าง ๆภายในประเทศมีผลให้ค่าใช้จ่ายด้านขนส่ง ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปของผู้ผลิตสูงขึ้น เพราะผู้ผลิตเป็นผู้ให้บริการขนส่งจนถึงที่ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

1.2 อลูมินาบริสุทธิ์ (อลูมินาไทรไฮเดรท)

ในปัจจุบันโรงงานผลิตสารส้มใช้อลูมินา (Al_2O_3) ชนิดที่มีความบริสุทธิ์สูงเป็นวัตถุดิบในการผลิต สารอลูมินาบริสุทธิ์นี้ก็เป็นผลผลิตจากแร่บอกไซท์ ซึ่งโดยทั่วไปมีปริมาณอลูมินาตั้งแต่

50% ขึ้นไปอลูมินาจากบอกไซท์โดยทั่วไปผลิตโดยกระบวนการแบเยอร์ (BayerProcess) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีและการลงทุนจึงทำให้ราคาของอลูมินาบริสุทธิ์สูงกว่าแร่บอกไซท์หลายเท่าตัวดังนั้นจึงเห็นว่าควรพิจารณาวัตถุดิบชนิดอื่นในการผลิตสารส้มคุณสมบัติของอลูมินาไทรไฮเดรทเป็นไปตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงคุณสมบัติของอลูมินาไทรไฮเดรท

	Typical
Al_2	64 % Min.
H_2O	12 % Max.
SiO_2	0.05 % Max.
Loss on ignition	35 % Max.

1.3 แร่บอกไซท์

วัตถุดิบที่จะต้องนำมาพิจารณาคือ แร่บอกไซท์โรงงานผลิตสารส้มต่าง ๆ ทั่วโลกใช้บอกไซท์เป็นวัตถุดิบทั้งสิ้นไม่ว่าประเทศนั้นๆจะมีแหล่งแร่บอกไซท์ภายในประเทศหรือไม่ ตัวอย่างเช่นในสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นประเทศที่ไม่มีแหล่งแร่บอกไซท์เป็นของตนเองก็ใช้บอกไซท์ เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารส้ม ทั้งนี้ย่อมสันนิษฐานได้ว่าการที่โรงงานต่างๆ เหล่านี้ใช้อลูมินาเป็นวัตถุดิบก็เพราะไม่มีความจำเป็นประการหนึ่ง และด้วยเหตุผลทางเศรษฐกิจที่ว่าอลูมินามีราคาสูงกว่าบอกไซท์หลายเท่าตัวอีกประการหนึ่งการใช้แร่บอกไซท์เป็นวัตถุดิบย่อมหมายถึงการลงทุนที่สูงกว่า ถ้าใช้อลูมินาบริสุทธิ์ทั้งนี้เพราะในโรงงานจะต้องมีเครื่องบด ร่อนและเก็บผงแร่บอกไซท์เพิ่มขึ้นส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งของการลงทุนที่สูงกว่าจะมาจากการขนส่งแร่บอกไซท์จากแหล่งแร่ถึงโรงงานผลิตสารส้ม(แร่บอกไซท์มีปริมาณ อลูมินาประมาณ 55%)

ในประเทศไทยยังไม่มีการสำรวจพบแหล่งแร่บอกไซท์ แต่ในประเทศข้างเคียง เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย และออสเตรเลีย มีแหล่งแร่บอกไซท์ ซึ่งผลิตแร่ได้เป็นจำนวนมาก โดย

เฉพาะอย่างยิ่งในประเทศออสเตรเลียเป็นประเทศที่มีแหล่งแร่บอกไซท์ใหญ่ที่สุดในโลก คุณสมบัติของแร่บอกไซท์เป็นตามตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงคุณสมบัติของแร่บอกไซท์

องค์ประกอบ	% โดยน้ำหนัก
Al_2O_3	40 - 60
SiO_2	1 - 15
Fe_2O_3	7 - 30
TiO_2	3 - 4
F, P_2O_5 , V_2O_5 , etc.	0.05 - 0.20

1.4 แร่ดิกไคต์ (Dickite)

มีลักษณะเป็นโมโนคลีนิค เป็นแผ่น ๆ หรือแผ่เป็นรูปรัศมี เป็นมวลที่อัดตัวกันแน่น รอยแยกจะเรียกสมบูรณ์ แสดงคุณสมบัติโค้งงอได้ มีความแข็ง 1- 2ความถ่วงเพาะ2.8 -2.9 โดยปกติจะวาวคล้ายเงิน ความวาวแบบมุก หรือแบบน้ำมันฉาบ มีหลายสี เช่น ขาว เทา เขียว แอปเปิ้ล และน้ำตาล แสดงคุณสมบัติโปร่งแสง ตรงขอบที่ขาวๆ จะสะท้อนแสงได้ ความแข็งของแร่จะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นอลูมินา ถ้ามีมากจะอ่อน ลักษณะเด่นอีกอย่างก็คือ เล็บขูดเข้าและลื่นมือคล้ายสบู่ จึงได้ชื่อว่าแร่ดิคไคต์ (แร่หินสบู่) เมื่อเผาจะให้สีน้ำเงินจาง ๆ ของอลูมิเนียม มีชื่อเรียกหลายชื่อด้วยกัน เช่น แร่หินสบู่ , ไพโรฟิลไลท์ หรืออะกาลมาโตไลท์ เป็นต้น มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ อลูมิเนียมออกไซด์ , ซิลิคอนออกไซด์ และน้ำผลึก ซึ่งจะอยู่ในรูปของซิลิเกต นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุชนิดอื่นอีกบ้างเล็กน้อย เช่น โซเดียม , โปตัสเซียม , แคลเซียม , ตะกั่ว ,ทองแดง , สังกะสี , อาร์เซนิค และมังกานีส เป็นต้น

แร่ดิกไคต์ เป็นแร่ที่มีปริมาณอลูมินาค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 30 - 40 %) แต่เนื่องจากเป็นแร่ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศไทย (อาจเป็นแหล่งแร่ที่ใหญ่ที่สุดของโลกแหล่งหนึ่งก็ได้) ดังนั้นแร่ดิกไคต์จึงควรจะได้รับการพิจารณาสำหรับการที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต

สารส้มในประเทศไทย เนื่องจากจะสามารถประหยัดค่าขนส่ง และเป็นการเก็บรักษาเงินตราของประเทศได้เป็นจำนวนมาก

1.4 ดินขาว

ดินขาวมีอยู่มากมายในทุกประเทศผิดกับแร่บอกไซท์ซึ่งยังไม่พบว่ามีอยู่ที่ใดในประเทศไทย ได้มีผู้คิดค้นผลิตสารส้มจากแร่ดินขาวเป็นผลสำเร็จ และตั้งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมขึ้นหลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทยด้วย แต่กรรมวิธีการผลิตค่อนข้างยุ่งยาก เพราะดินขาวมีปริมาณอลูมินาเพียงร้อยละ 40 เท่านั้น ส่วนใหญ่เป็นซิลิกา และอลูมินาในดินขาวไม่ละลายในกรดซัลฟุริกได้ง่าย ๆ ต้องมีการเผาดินขาวที่อุณหภูมิระหว่าง 700 - 800 องศาเซ็นเซียส เสียก่อน ถ้าเผาที่อุณหภูมิต่ำหรือสูงกว่านี้ก็จะละลายยากเมื่อเผาได้ที่แล้วนำเอาดินนี้มาต้มกับกรดซัลฟุริคผสมน้ำ แล้วจึงกรองเอาซิลิกาออกสารส้มน้ำที่ได้ข้นไม่พอ ต้องนำมาต้มไล่น้ำออกไป จึงจะได้สารส้มแข็งหรือสารส้มน้ำที่มีความเข้มข้นที่ต้องการ ฉะนั้นความยุ่งยากจึงอยู่ที่การเผา และกรรมวิธีที่กล่าวมานี้ เมื่อไม่นานมานี้ได้พบดินขาวที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตสารส้ม ดินแหล่งนี้อยู่ที่เขาเขียว อำเภอหนองบัวโคก จังหวัดชลบุรี มีอลูมินาอยู่สูงและเป็นเนื้อนิ่มเหมาะแก่การนำมาใช้ในการผลิตได้ง่ายสะดวก

ดินขาวมีชื่อในภาษาอังกฤษว่า " เกาลีน" (Kaolin) คือ แร่เกาลิไนท์ (Kaolinite) นั่นเอง มีสูตรทางเคมี คือ $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ซึ่งประกอบด้วยไฮดรัสซิลิเกตของอลูมิเนียม

โดยทั่วไปดินขาวเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแร่ตระกูลอลูมิเนียมซิลลิเกต กระบวนการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากผลของการแปรสภาพของหิน และแร่อันเนื่องมาจากน้ำแร่ร้อนภายในโลก หรือกระบวนการของก๊าซ หรืออาจจะเกิดจากการผุพังของหินแล่แร่ตามธรรมชาติ การสลายตัวของกระบวนการต่าง จะทำให้โปตัสเซียม, โซเดียม , แคลเซียม และแร่อื่น ๆ ถูกชะออกไปเหลือแต่อลูมิเนียมซิลลิเกต เกิดเป็นแหล่งดินขาวขึ้นมา

ในประเทศไทยดินขาวที่พบมีการกำเนิดหลายแบบด้วยกัน แบบที่เกิดจากการสะสมตัวเนื่องจากการแปรสภาพด้วยกระบวนการของก๊าซ เช่น ที่หาดส้มแป้น อ. เมือง จ. ระนอง ชนิดที่เกิดจากการสะสมตัวที่ผุพังอยู่กับที่ เช่น ที่เขาป่าค่า ต .บ้านสา อ.เมือง จ. ลำปาง และที่เกิดจากการพัดมาสะสมตัวเองเป็นชั้น ๆ เช่น ที่บ้านแม่ทาน อ. แม่ทะ จ. ลำปาง

ดินขาวมีลักษณะเป็นดินร่วน เวลาจับจะเปื้อนมือ สามารถจับตัวเป็นก้อนถ้าถูกแรงกด ความถ่วงจำเพาะประมาณ 3 มีหลายสี เช่น ขาว , น้ำตาล , น้ำเงินอ่อน ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณแร่มลทิน ที่ปนอยู่ในดิน ปกติจะมีสีขาวผ่อง เมื่อถูกน้ำจะละลายปนลอยอยู่ ตั้งทิ้งไว้จะตกตะกอน ประกอบด้วยแร่ธาตุที่สำคัญ คือ ซิลลิคอน , อลูมิเนียม , เหล็ก และแร่ธาตุชนิดอื่นอีกบ้างเล็กน้อย เมื่อเผาน้ำหนักบางส่วนจะหายไปและมีสีเข้มขึ้น ซึ่งเป็นสีของเหล็กออกไซด์ ซึ่งเปลี่ยนรูปจากซิลลิเกต

มีดินสีขาวบางชนิด เช่น ดินมาร์ล (Marl) หรือชอร์ค มีลักษณะคล้ายกับดินขาวมาก แต่ไม่ใช่ดินขาว ดินมาร์ลจะเป็นสารประกอบพวกคาร์บอเนตซึ่งทำปฏิกิริยากับกรด ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นจึงใช้เป็นวิธีทดสอบว่า ดินสีขาวนั้นเป็นดินขาวหรือดินมาร์ล

คุณสมบัติทางเคมีอื่น ๆ จะให้คุณสมบัติของซิลิกา ,อลูมินา เป็นสำคัญสำหรับดินขาวที่พบในประเทศไทย จะมีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบในรูปของอลูมินาประมาณ 20 -40 %

ดินขาวใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายชนิดขึ้นอยู่กับ คุณภาพของดินขาวที่ผลิตได้ มีดินขาวมากกว่าครึ่งหนึ่งที่ผลิตได้ในทั่วโลก ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ เนื่องจากกระดาษทำด้วย Cellurose fibre ของพวกพืช ดังนั้นกระดาษจะใสและมีผิวหน้าขรุขระ ไม่เหมาะกับการพิมพ์หมึกหรือตัวหนังสือลงไป ดินขาวที่เติมลงไปจะอุดช่องว่างต่าง ๆ ในเนื้อเยื่อกระดาษ ทำให้กระดาษมีผิวหนาเรียบและมีสีขาว ดังนั้ภาพและตัวหนังสือที่พิมพ์ลงไปจะชัดเจน , ใช้เติมลงไปในยางเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความทนทานต่อการขัดสี และความเปราะของยาง การเติมดินขาวลงไปในยางจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในผลิตภัณฑ์ยางต่าง ๆ , ใช้ในอัตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา ใช้ดินขาวทำฉนวนและวัตถุทนไฟ ในการทำเครื่องปั้นดินเผานั้น และแม่พิมพ์มีความแข็ง , ขนาดรูปร่างคงที่ไม่ว่าก่อนหรือหลังการเผาแล้ว และจะช่วยให้มีผิวหน้าเรียบในตอนสุดท้ายอีกด้วย ดินขาวไม่เป็นสื่อนำไฟฟ้าและยังเฉื่อยด้วย จึงเหมาะสำหรับทำกระเบื้องฉนวนไฟฟ้า คุณสมบัติที่ทำให้ดินขาวเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของวัตถุทนไฟก็คือ ทำให้วัตถุทนไฟมีขนาดรูปร่างคงที่ จุดหลอมตัวสูงและมีน้ำใน Molecule น้อย , ใช้ในอุตสาหกรรมทำสีช่วยให้ยึดเกาะกับผนัง , นอกจากนี้ดินขาวยังใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ อีกเล็กน้อย เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในการทำน้ำหมึก ผ้าน้ำมัน เครื่องสำอางค์ ยาฆ่าแมลง ยารักษาโรค ซิเมนต์ ปุ๋ย พลาสเตอร์ วัสดุดูดซึม ใช้เคลือบกระเบื้องถ้วยชาม ทำกระเบื้องขาว เป็นต้น

โดยปกติดินขาวที่พบจะมีแร่ชนิดอื่น หรือกลุ่มอื่นเช่น ดินทราย ,หินเขี้ยวหนุมานปนอยู่ กรรมวิธีการผลิตจึงต้องนำดินขาวมาล้างด้วยน้ำ เม็ดทรายซึ่งหนักจะจมลงสู่ก้นภาชนะอย่างรวดเร็ว กรองน้ำที่อยู่ส่วนบนด้วยแร่งขนาดที่ต้องการ แล้วแยกดินขาวที่ละลายน้ำอยู่ออก โดยการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน หรือใช้เครื่องแยกชนิดทิคเคนเนอร์ หรือฟิลเตอร์เพรสก็ได้ อบหรือตากแดดให้แห้งจะได้ดินขาวที่มีขนาดเม็ดดินตามต้องการ

การผลิตดินขาวในประเทศไทย ได้มีการผลิตหรือการนำเอาดินขาวมาใช้ครั้งแรกภายในประเทศเมื่อปี พ.ศ. 2504 แหล่งที่ขดพบ คือ ที่ อ. แจ้ห่ม จ. ลำปาง โดยนำมาทดลองใช้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาและได้ผลดี พอสมควร ต่อมาในปี พ.ศ. 2506 ได้มีการขุดพบขึ้นอีกที่จังหวัดอุตรดิตถ์ และก็ได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาเช่นเดียวกัน กรมทรัพยากรณ์ธรณีทำการสำรวจและพบแหล่งดินขาวขึ้ยอีกหลายแห่งภายในประเทศ ขณะเดียวกันได้มีผู้สนใจตั้งโรงงานตกแต่งแร่ดินขาวเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึง 2516 โรงงานที่ทำการผลิตหรือตกแต่งดินขาวถึง 15 โรงงาน อยู่ในจังหวัดลำปาง 7 โรงงาน จังหวัดอุตรดิตถ์ 4 โรงงาน จังหวัดระนอง 2 โรงงาน จังหวัดสระบุรี 1โรงงาน และจังหวัดนครนายก 1 โรงงาน

<u>กระบวนการผลิตสารส้ม</u>

สารส้มที่ขายโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ระดับด้วยกัน ได้แก่ ระดับคอมเมอเชียลเกรด (เหล็กไม่เกิน 0.5%) และระดับไอออน-ฟรีเกรด (เหล็กไม่เกิน 0.005 %) ในสหรัฐอเมริกา สารส้มที่เป็นคอมเมอเชียลเกรดโดยมากจะทำมาจากบอกไซท์หรือดินขาว โดยการต้มบอกไซท์ที่ละเอียดแล้วกับกรดซัลฟุริคที่อุณหภูมิใกล้จุดเดือดของสารละลาย ความเข้มข้นของกรดซัลฟุริคที่ใช้อยู่ระหว่าง20 % - 50 % ขึ้นอยู่กับชนิดของสารส้มที่ต้องการ และข้อจำกัดในการทำสารส้มให้บริสุทธิ์ ถ้าจำนวนเหล็กในบอกไซท์หรือดินขาวมีมากจะต้องมีการเติมสารเคมีบางตัวเพื่อให้เหล็กตกตะกอน แยกตะกอนของแข็งออกโดยการตกตะกอนหรือกรองสารละลายใสที่ได้จะขายในรูปของสารส้มน้ำ หรือเอาไประเหยจนได้สารละลายที่มีความเข้มข้นประมาณ 61.5 องศาโบรเม ปล่อยให้เย็นตัวเป็นของแข็ง บดให้ได้ขนาดตามต้องการ โดยทั่วไปสารส้มที่ได้จะประกอบด้วยสารต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ สารที่ไม่ละลายน้ำ 0.08 % , อลูมินา 17.15 % , เหล็กออกไซด์ 0.45 % , ซัลเฟอร์ในรูปของซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ 39.66 % , น้ำ 42.66 % ส่วนสารส้มน้ำจะมีอลูมินาไม่เกิน

8 % เพื่อป้องกันการตกผลึกสารส้มที่ได้ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมชนิดที่เหล็กเจือปนอยู่ไม่มีผลต่อกระบวนการผลิต เช่น ใช้ในการทำน้ำประปา ใช้ในกระบวนการตกตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน เป็นต้น ส่วนสารส้มชนิดไอออน-ฟรีเกรดนั้น ในสหรัฐอเมริกายังคงใช้วิธีการทำจากบอกไซท์หรือดินขาวโดยวิธี Bayer Process ไม่นิยมผลิตจากบอกไซท์หรือดินขาวโดยตรง เนื่องจากความยากลำบากในการลดปริมาณเหล็กออกไซท์ในสารส้ม สารส้มชนิดนี้ใช้มากในกระบวนการทำกระดาษ ซึ่งเหล็กที่ปรากฏจะทำให้กระดาษไม่ขาว

สารเคมีที่ใช้ในการแยกเหล็กออกจากสารละลายของอลูมิเนียมซัลเฟตมีหลายชนิด เช่น เฟอร์โรไซยาไนด์ , ไซยาไนด์ หรือซัลไฟด์ของโปตัสเซียม หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของอลูมิเนียม , แคลเซียม , แอมโมเนีย หรือแมงกานีส ออกไซด์ของแมงกานีส ตะกั่ว ดีบุก หรืออาเซนิค หรือผงสังกะสี เหล็ก หรืออลูมิเนียม ตะกอนของไซยาไนด์จะอยู่ในรูปของ Prussian blue ในขณะที่ออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์จะให้ตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์ ตะกอนเหล่านี้แยกออกได้ยากในสารละลายที่เจือจาง ในขณะเดียวกันสารประกอบอลูมิเนียมก็จะตกตะกอนมาพร้อมกับเหล็กด้วย ดังนั้น การทำสารส้มที่บริสุทธิ์มาก ๆ จำทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตลดลงอย่างมากด้วย

จากการศึกษาพบว่า ในปัจจุบันมีกระบวนการผลิตอยู่หลายกระบวนการซึ่งแตกต่างกันไปขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

2.1 กระบวนการผลิตโดยการใช้แร่ต่าง ๆ เป็นวัตถุดิบ

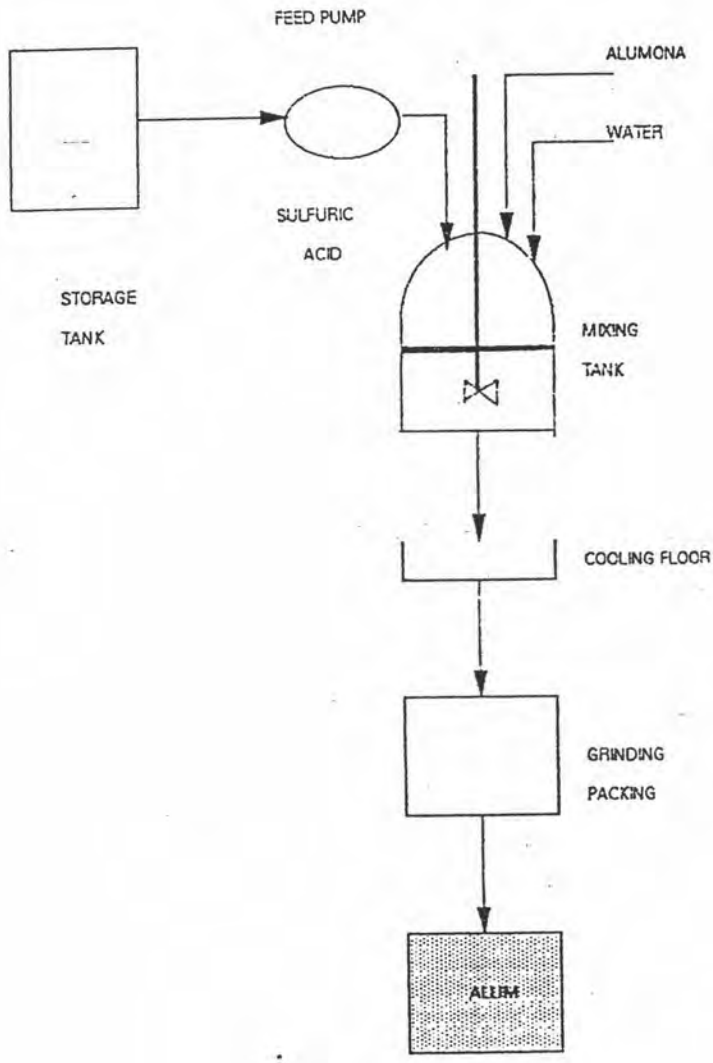
2.1.1 ใช้อลูมินาบริสุทธิ์เป็นวัตถุดิบ

รูปที่ 5.1 แสดงกระบวนการผลิตสารส้มจากอลูมินามีลำดับขั้นตอนคือ การนำอลูมินาและกรดซัลฟุริคมาเทรวมกันด้วยปริมาณที่สมมูลย์กันในถังปฏิกิริยาที่ปิดหมด และมีเครื่องควบแน่นเพื่อป้องกันไม่ให้กรดระเหยหนีไป ภายในถังจะมีเครื่องกวนเพื่อกวนให้อลูมินาผสมกับกรดได้ดียิ่งขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบคายความร้อน ความร้อนนี้มีมากพอที่จะทำให้อุณหภูมิในถังปฏิปฏิกิริยาถึงจุดเดือดประมาณ 120 องศาเซ็นเซียส และสามารถรักษาอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่าสองชั่วโมง ปฏิกริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์ใช้เวลา 1.5-2 ชั่วโมง จากนั้นเทสารส้มที่ได้ลงบนลานตากปล่อยให้เย็นตัวจนแข็ง จากนั้นนำไปบดตามขนาดที่ต้องการ บรรจุถุงแล้วนำไปจำหน่ายได้

2.1.2 ใช้บ๊อคไซท์เป็นวัตถุดิบในการผลิต

การใช้บ๊อคไซท์ในการผลิตมีหลายวิธีด้วยกัน ดังนี้

ก. The alkaline process



รูปที่ 5.1 แผนผังแสดงขบวนการผลิตสารส้มจากอลูมินา

เริ่มต้นด้วยการผสมแร่บ๊อคไซท์ที่บดแล้วด้วยโซเดียมคาร์บอเนตในปริมาณที่มากเกินพอเล็กน้อยเผาจนกระทั่งละลาย โซเดียมคาร์บอเนตจะทำปฏิกิริยากับอลูมินาได้โซเดียมอลูมิเนต ดังสมการ

$$Al_2O_3 + 3Na_2CO_3 \longrightarrow 2Al(ONa)_3 + 3CO_2$$

สารละลายของโซเดียมอลูมิเนตที่ร้อนจะถูกสูบผ่านเครื่องกรองชนิดฟิวเตอร์เพรส เพื่อแยกเอาตะกอนที่ไม่ละลายน้ำออก จากนั้นเติมน้ำเพื่อละลายโซเดียมอลูมิเนต แล้วตกตะกอนส่วนที่ไม่ละลายน้ำออกจากนั้นจึงเติมน้ำเพื่อละลายโซเดียมอลูมิเนต แล้วตกตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอคไซด์ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้

$$3H_2O + 2Al(ONa)_3 + 3CO_2 \longrightarrow 2Al(OH)_3 + 3Na_2CO_3$$

แยกเอาตะกอนออกแล้วต้มกับกรมซัลฟุริก จะได้สารส้มดังสมการ

$$2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4 \longrightarrow Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O$$

ส่วนโซเดียมคาร์บอเนตจะถูกแยกและนำกลับมาใช้ในกระบวนการอีก

จะพบว่าวิธีการดังกล่าวมีข้อเสียหลายประการ ได้แก่ ต้องเสียค่าใช้จ่ายเนื่องจากการสูญเสียโซเดียมคาร์บอเนต ระบบการผลิตมีความยุ่งยากมาก การแยกตะกอนของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ทำได้ ยาก เนื่องจากตะกอนเบา แต่มีข้อดีที่ว่าสารส้มที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูง กระบวนการผลิตแสดงไว้ใน รูปที่ 5.2

ข. The Acid Process

บ๊อคไซท์ที่บดแล้วจะถูกสูบเข้าไปในถังปฏิกริยาที่ปิดมิดชิดและทนความกดดันได้สูง (ประมาณ 4 psi) เติมกรดซัลฟุริคที่มีความเข้มข้น 45-52 องศาโบเม่ ต้มจนอุณหภูมิประมาณ 90-100 องศาเซ็นเซียส จะเกิดปฏิกริยาขึ้นอย่างรุนแรงในถัง ความกดดันจะเพิ่มขึ้นมาเป็น 4 psi ปฏิกริยาสม

บูรณ์จะใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที เทของเหลวที่ได้ออกมา แล้วเจือจางด้วยน้ำจนความเข้มข้นประมาณ 29 - 32 องศาโบเม่ เพื่อไม่ให้สารส้มแข็งตัว เทใส่ถังทิ้งไว้ให้ตกตะกอน ประมาณ 4 วัน จะได้ของเหลวที่ใส รินเอาน้ำใสออก แล้วระเหยจนความเข้มข้นเป็น 42 องศาโบเม่ ทิ้งไว้ให้เย็นจะได้สารส้มตามต้องการ

จะพบว่ากระบวนการผลิตนี้ง่าย แต่มีข้อเสีย คือ สารส้มที่ได้จะมีเหล็กเจือปนน้อยมาก แผนผังแสดงขั้นตอนของกระบวนการผลิต แสดงไว้ในรูปที่ 5.3

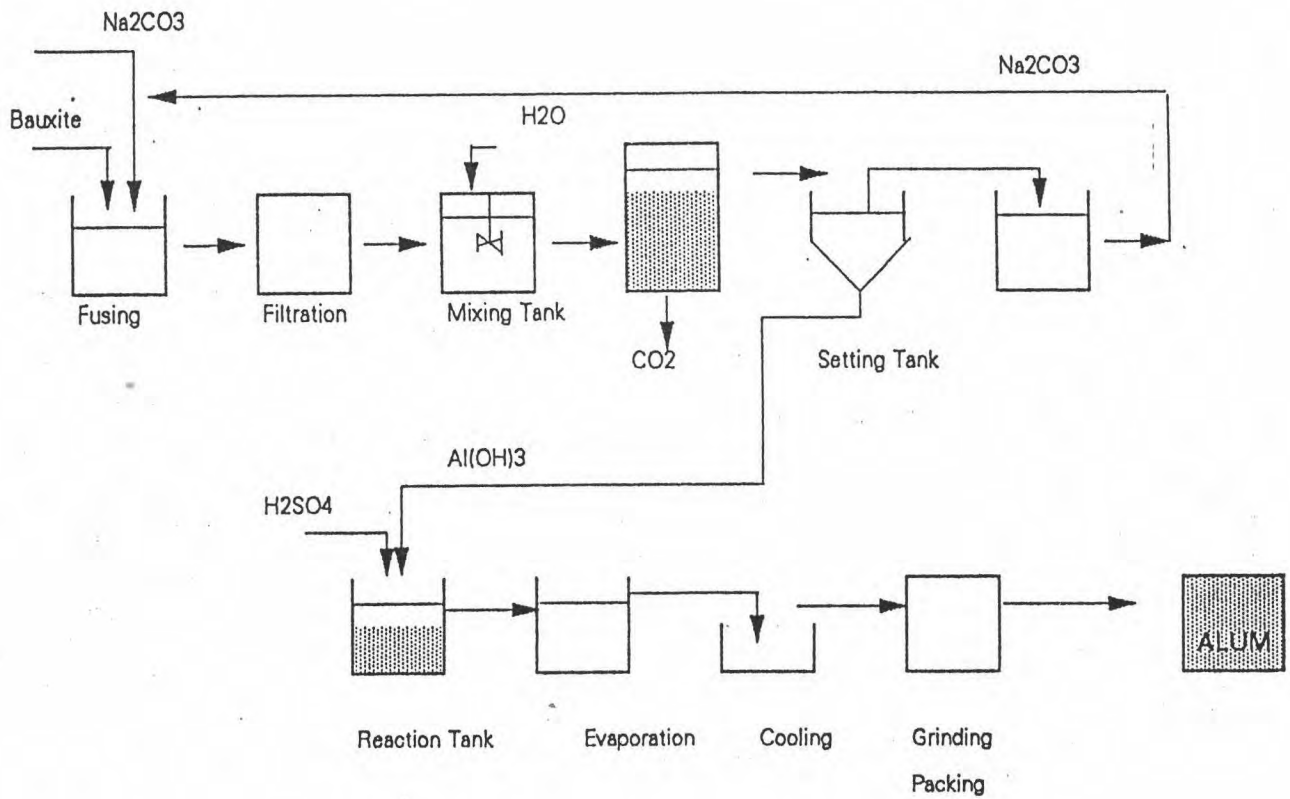
ค. The Door Process

กระบวนการนี้เป็นการทำอลูมิเนียมซัลเฟตจากบ๊อคไซท์ โดยการต้มกับกรดโดยตรง เช่นเดียวกับ The Acid Process แต่เพิ่มและปรับปรุงกระบวนการผลิตบางขั้นตอนเพื่อให้เหมาะสมและมีประสิทธิ ภาพยิ่งขึ้น รูปที่ 5.4 แสดงถึงกระบวนการผลิตอลูมิเนียมซัลเฟต ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

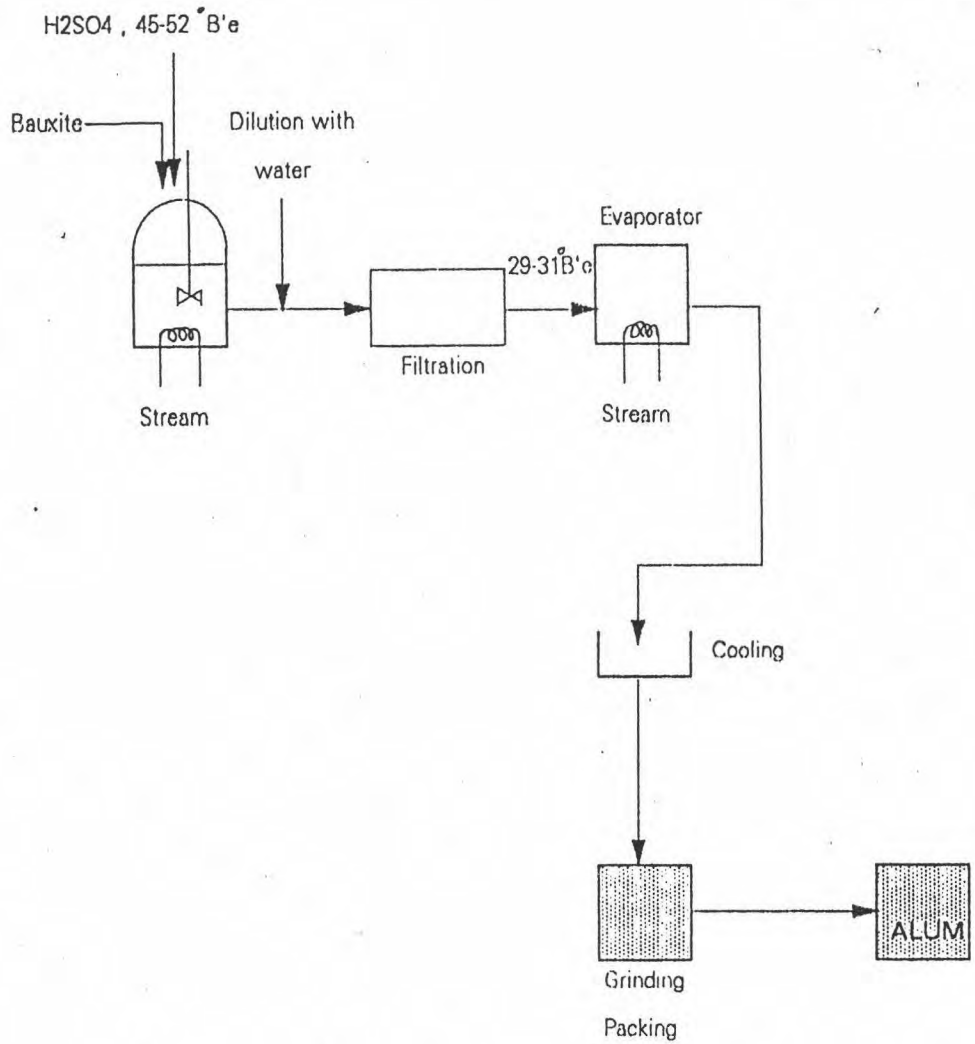
แร่บ๊อคไซท์จะถูกบดให้ละเอียด จนสามารถผ่านแร่งขนาด 200 mesh ได้ไม่ต่ำกว่า 80 % จากนั้นป้อนแร่บอกไซท์เข้าถังปฏิกิริยาพร้อมกับกรดซัลฟุริกที่มีความเข้มข้น 60 องศาโบเม่ ถังปฏิกิริยาจะมีอยู่ 3 ถังต่ออนุกรมกัน มีไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อน ในถังใบสุดท้ายจะเติมแบเรียมซัลไฟด์ ของเหลวที่ได้จะถูกนำไปเข้าเครื่องแยกตะกอนออก ซึ่งอาจจะเป็นเครื่องกรองชนิด ฟิวเตอร์เพรส ทิกเคนเนอร์ หรือถังตกตะกอนก็ได้ ล้างตะกอนด้วยน้ำเพื่อให้สารส้มสูญเสียน้อยที่สุด แล้วนำน้ำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตอีก น้ำใสที่ได้จะมีความเข้มข้นประมาณ 35 องศาโบเม่ นำไประเหยน้ำออกจนได้ความเข้มข้น 59 - 62 องศาโบเม่ เทลงไปในลาน ปล่อยให้เย็นตัว สารส้มจะตกผลึกเป็นของแข็ง จากนั้นบด แล้วบรรจุเพื่อขายต่อไป

2.1.3 ใช้แร่ดิคไคต์เป็นวัตถุดิบ

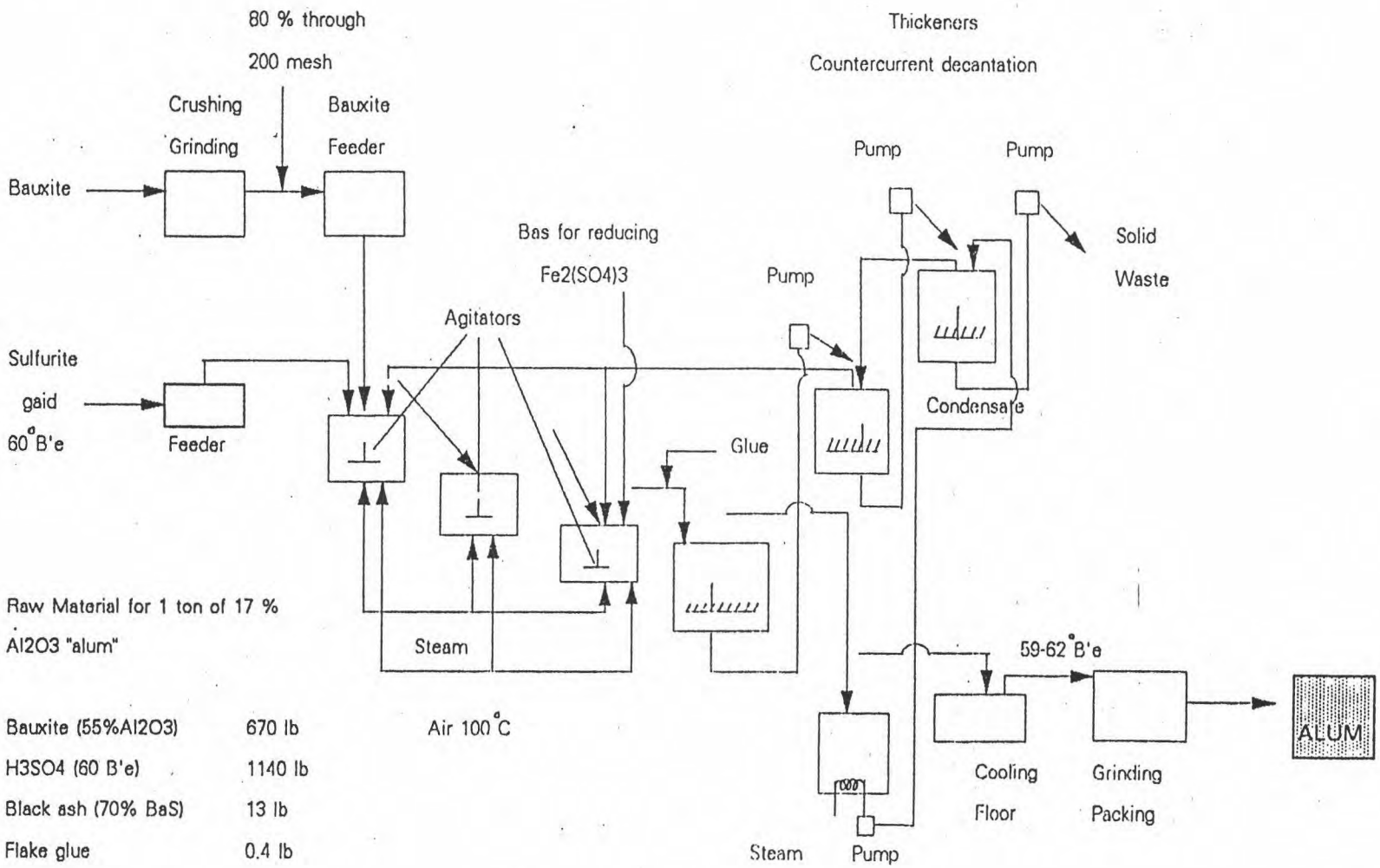
กระบวนการผลิตสารส้มจากแร่ดิคไคต์เป็นไปตามรูปที่ 5.5 ซึ่งมีกระบวนการผลิต ดังต่อไปนี้ แร่ดิคไคต์ ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 -12 นิ้ว การเก็บแร่นี้จะกองไว้ที่พื้นมีเครื่องตัก ลักษณะคล้ายเครื่องตักดิน ทำหน้าที่ตักหินเหล่านี้เทลงบนเครื่องบดหยาบ (Crushing) ทำหน้าที่บดให้แร่ดิคไคต์มีขนาดเล็กลงพอที่จะเข้าเครื่องบดละเอียดได้ (Grinding) หลังจากที่แร่นี้ผ่านเครื่องบดละเอียดแล้วจะเป็นผงละเอียดขนาดของเม็ดแร่ที่เล็กกว่า 200 เมช จะผ่านแร่งนี้ไปเข้าเตาเผาที่มีอุณภูมิ 700 องศาเซลเซียส ส่วนขนาดที่โตกว่า 200 เมชจะย้อนกลับเข้าเครื่องบดละเอียดเพื่อบดใหม่ ระยะเวลาของการเผา 30 นาที แร่ที่ออกจากเตาเผา ต้องทิ้งไว้ให้เย็นตัวจนถึงอุณภูมิ 100



รูปที่ 5.2 แผนผังแสดงขบวนการผลิตสารส้มจากบอกไซต์ ด้วยวิธี Alkaline Process

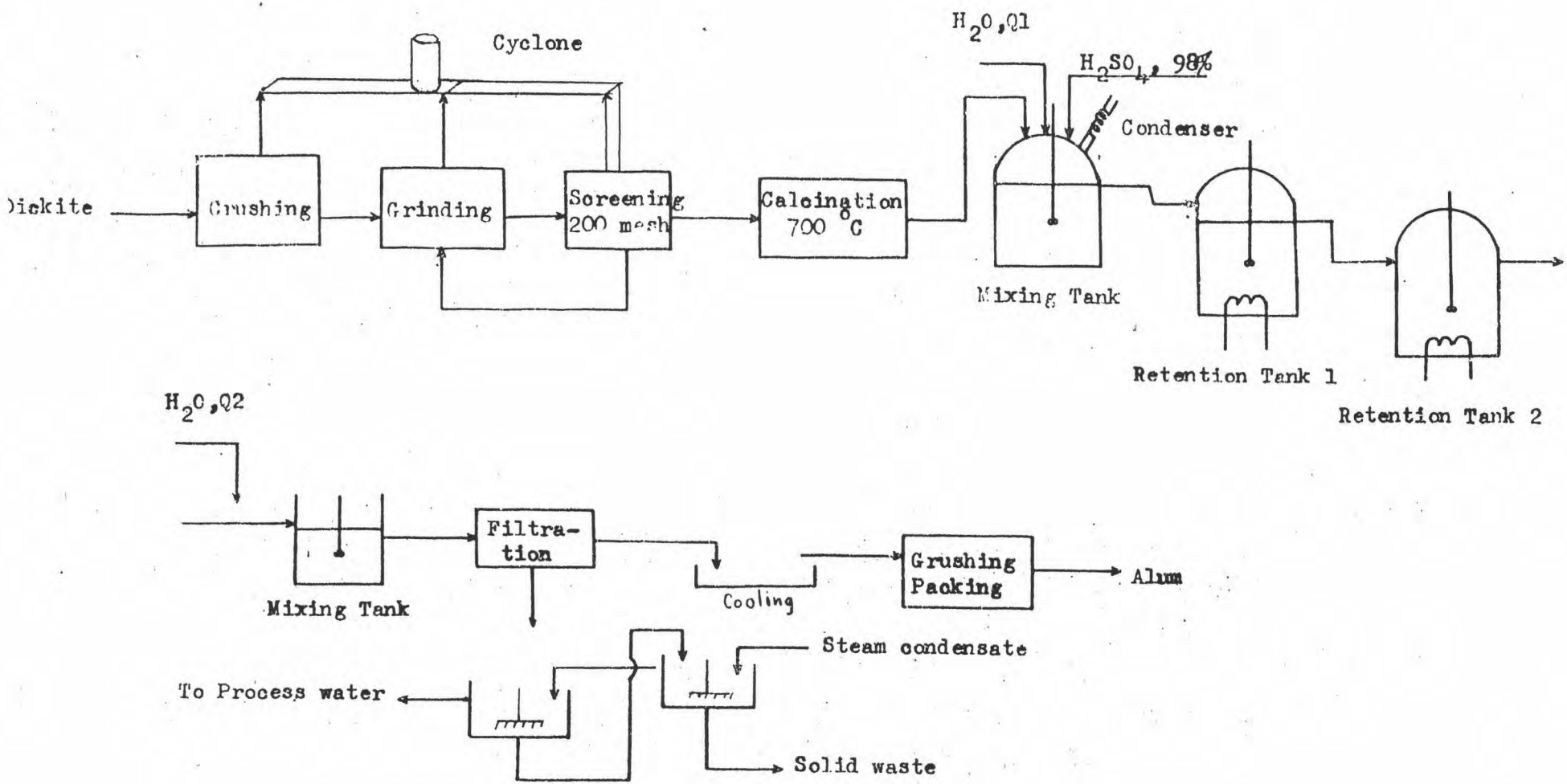


รูปที่ 5.3 แผนผังแสดงขบวนการผลิตสารส้มจากบอกไซต์ ด้วยวิธี Acid Process



Bauxite (55%Al2O3)	670 lb
H3SO4 (60 B'e)	1140 lb
Black ash (70% BaS)	13 lb
Flake glue	0.4 lb
Coal (steam)	640 lb
Electricity	29 KWH
Direct labour	1.5 man-hr

รูปที่ 5.4 แผนผังแสดงขบวนการผลิตสารส้มจากบอกไซท์ ด้วยวิธี Dorr Process



รูปที่ 5.5 แสดงกระบวนการผลิตสารส้มจากแร่ดิกไคต์

องศาเซลเซียส แล้วป้อนเข้าถังปฏิกรณ์ใบที่ 1 ขณะเดียวกันจะสูบน้ำและกรดซัลฟุริคเข้าตามจำนวนที่ต้องการ ถังปฏิกรณ์นี้ทำหน้าที่คล้ายกับเป็น Mixing Tank ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงมาก ต้องมีเครื่องควบแน่น เพื่อป้องกันการสูญเสียไอกรด และลดอุณหภูมิของปฏิกิริยา อุณหภูมิของของเหลวในถังปฏิกิริยาเท่ากับจุดเดือดของของเหลวประมาณ 120 องศาเซลเซียส ของเหลวจากถังปฏิกรณ์ใบที่ 1 จะล้นเข้าไปในถังปิกรณ์ใบที่ 2 ซึ่งทำหน้าที่เป็น Retention Tank มีไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เท่ากับ 120 องศาเซลเซียส จากถังใบนี้ของเหลวส่วนเกินจะไหลล้นไปใน

ถังใบที่ 3 ซึ่งทำหน้าที่เพื่อให้ปฏิกิริยาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขณะเดียวกันก็จะเป็นตัวระเหยกรดอิสระที่ยังเหลืออยู่ โดยมีช่องระบายอากาศอยู่ด้านข้าง พร้อมกับมีทางสำหรับปล่อยไอน้ำเข้าทางข้างล่าง เพื่อเป็นตัวให้ความร้อนและทดแทนน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการระเหย ของเหลวที่ได้จากถังปฏิกรณ์ใบที่ 3 นี้ มีลักษณะข้นและหนืดต้องผ่านเข้าไปในถังผสมซึ่งมีการเติมน้ำเพิ่มเติม ในปริมาณที่พอดีกับสารส้มชนิด 16 % อลูมินา หลังจากนั้นของเหลวจะถูกสูบผ่านเครื่องกรอง น้ำใสที่ได้จะเทลงบนลานตาก เพื่อปล่อยให้เย็นตัวจนแข็ง ส่วนตะกอนจะนำมาล้างเพื่อแยกเอาอลูมิเนียมซัลเฟตออกให้หมด โดยใช้น้ำร้อนจาก Steam Condensate เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบ Counter Current Decantation ต่ออนุกรมกัน 2 ตัว ของแข็งที่ได้จะทิ้งเป็น Waste ส่วนสารส้มที่ได้จะนำไปบดให้เป็นก้อนเล็ก ๆ แล้วบรรจุเพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

2.1.4 การผลิตจากแร่ซึ่งมีอลูมินา 20 - 40 %

ในต่างประเทศได้มีการผลิตอลูมิเนียมซัลเฟตจากแร่ชนิดอื่น เช่น อลูไนท์ ดินขาว ไพโรฟิลไรท์ เป็นต้น แต่ไม่เป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากยังมีแร่บ๊อคไซท์อยู่มาก เท่าที่ค้นพบในประเทศเยอรมัน C. Schwartz พบว่า สามารถทำสารส้มจากแร่อลูไนท์ โดยการเผาอลูไนท์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซ็นเซียส แล้วต้มกับกรดที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.297 - 1.530 อุณหภูมิ 70 - 110 องศาเซ็นเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

L. Geshhwind เป็นชาวฝรั่งเศสพบว่า ถ้าเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซ็นเซียส จะให้ผลผลิตที่ดีขึ้น โดยอธิบายว่า การเผาจะทำให้รูปร่างของผลึกเปลี่ยนเป็นแบบ Granular Structure ซึ่งง่ายต่อการที่กรดจะซึมเข้าไปในเนื้อของเม็ดแร่

อย่างไรก็ตาม Thorpe and Whiteley ได้แสดงไว้ว่าอลูไนท์สามารถต้มกับกรดซัลฟุริคโดยตรงให้อลูมิเนียมซัลเฟตได้ โดยการต้มที่อุณหภูมิ 100 - 300 องศาเซ็นเซียส เวลาที่ต้มจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ Martin ได้แสดงไว้ว่า ความดันสูงสุดในถังปฏิกิริยาจะเท่ากับ 4 psi

2.2 กระบวนการผลิตโดยใช้อลูมินาไทรไฮเดรท (Al_2O_3)เป็นวัตถุดิบ

การผลิตสารส้มโดยการเจือจางอลูมินาไทรไฮเดรท (Al_2O_3) ให้อยู่ในรูปของเหลวเพื่อง่ายต่อการขนถ่ายในถังปฏิกรณ์ (Reactor) หลังจากนั้นก็ Feed กรดซัลซัลฟุริคเข้าไปทำปฏิกิกริยาในถังปฏิกรณ์ (Reactor) ภายในถังปฏิกรณ์จะมีเครื่องควบแน่นเพื่อป้องกันไม่ให้กรดระเหยหนีไป ภายในถังจะมีเครื่องกวน เพื่อกวนให้อลูมินาและกรดซัลฟุริคทำปฏิกิริยาได้ดียิ่งขึ้น โดยที่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน หรือ Exotermic Reaction ความร้อนนี้มีมากพอที่จะทำให้อุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ถึงจุดเดือด (120 องศาเซลเซียส) ซึ่งReaction time ใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง หลังจากปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์สารส้ม ($Al_2So_4)_3$ ในรูปของของเหลวที่อุณภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส จะนำมาเข้าใส่แบบ ทิ้งให้เย็ยตัวที่อุณหภูมิห้อง จะได้สารส้มที่เป็นของแข็ง (Solid) กรณีที่จะผลิตสารส้มน้ำ (Alum 8 %) จำนำมาเจือจางด้วยน้ำแทนที่จะมาเทใส่แบบ หรือที่สารส้มของแข็งควบคุม 16 % ของอลูมินา หรือ 16 % อลูมิเนียมซัลเฟต สารส้มน้ำควบคุมที่ 8 % ของอลูมินา หรือ 8% ของอลูมิเนียมซัลเฟต ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

$$Al_2O_{3\,(s)} + 3\,H_2SO_{4(aq)} \dashrightarrow Al_2(SO_4)_{3(aq)} + 3\,H_2O$$

สารส้ม 16 % อลูมินา (สารส้มก้อน) จำนวน 1 ตัน จะใช้สารละลายกรดซัลฟุริคเข้มข้น 98 % จำนวน 0.84 ตัน และจะใช้อลูมินาไทรไฮเดรทจำนวน 0.28 ตัน

2.3 กระบวนการผลิตโดยใช้แร่บ๊อคไซท์เป็นวัตถุดิบ

โรงงานผลิตสารส้มจากบ๊อคไซท์ อาจแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ได้แก่ ส่วนการเตรียมแร่ เพื่อส่งเข้าเครื่องปฏิกรณ์

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor) ถังพัก (Settler) เครื่องกรอง (Filter) และเครื่องระเหยน้ำ (Evaporator) ผลผลิตจากส่วนที่ 2 นี้จะเป็นสารส้มน้ำที่มีความบริสุทธิ์และความเข้มข้นพอเหมาะกับการเป็นสารสร้างตะกอนตามความต้องการของการประปา ฯ

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนสำหรับการผลิตสารส้มก้อนหรือผง ซึ่งเป็นผลผลิตที่เป็นของแข็งจะเห็นได้ว่าการแบ่งโรงงานออกเป็น 3 ส่วน เช่นนี้ มีประโยชน์ในด้านการรักษาความสะอาดของการเกิดปฏิกิริยาทางสารละลายในส่วนที่ 2 โดยป้องกันมิให้ฝุ่นจากส่วนที่ 1 และ 3 เข้าไปในเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในส่วนที่ 2 ในทำนองเดียวกันก็จะเป็นการป้องกันมิให้ความชื้นซึ่งอาจเกิดขึ้นจากส่วนที่ 2 เข้าไปในส่วนที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวกับผงแร่บ๊อคไซท์และผงสารส้มซึ่งไม่ต้องการความชื้น

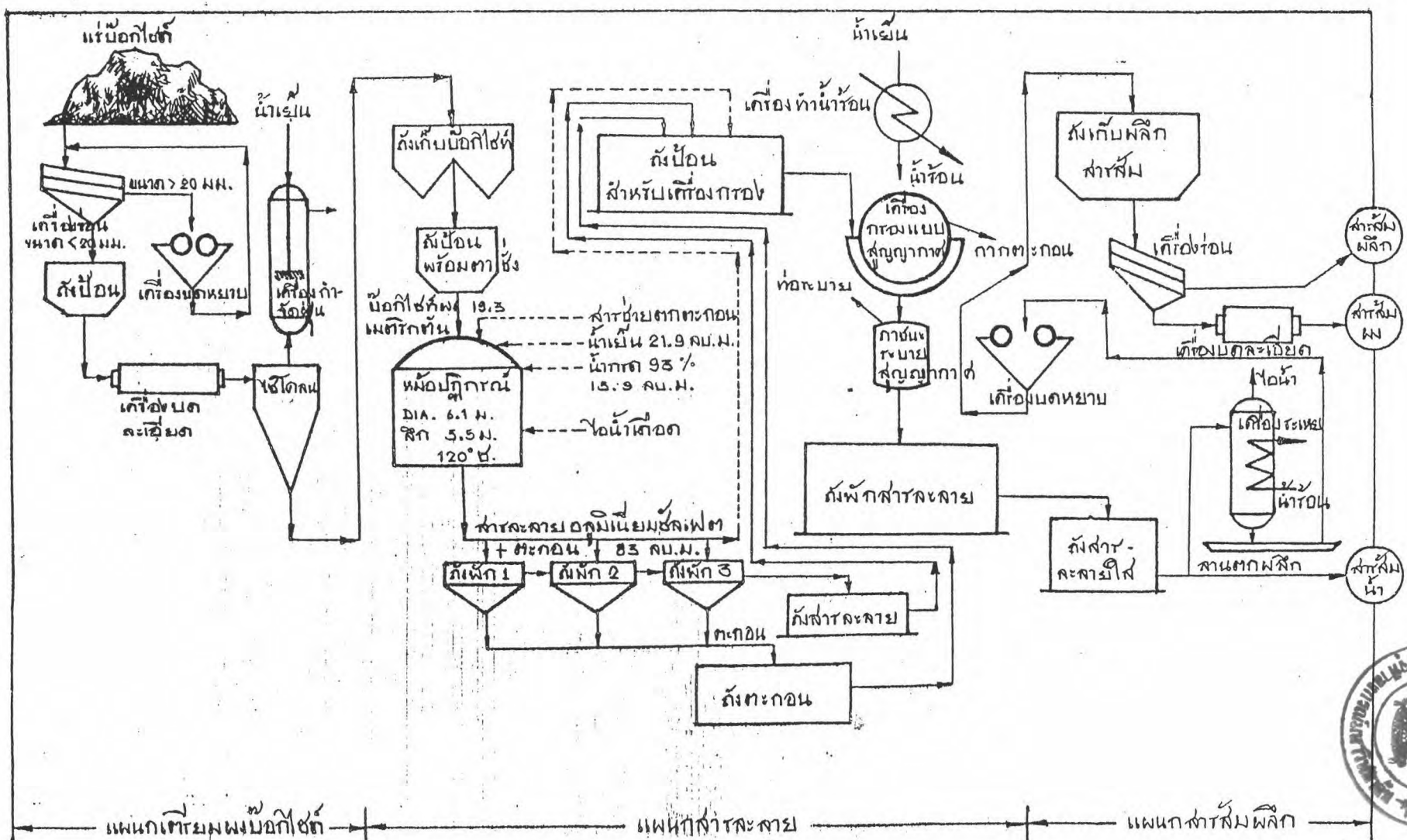
รูปที่ 5.6 แสดงกระบวนการผลิตสารส้มจากแร่บ๊อคไซท์ โดยแบ่งส่วนงานเป็นส่วนการเตรียมแร่บ๊อคไซท์ การผลิตสารละลายสารส้ม และการผลิตสารส้มผลึก

2.2.1 การเตรียมแร่บ๊อคไซท์

เนื่องจากกระบวนการผลิตสารส้มเป็นกระบวนการของปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง คือแร่บ๊อคไซท์และสารละลาย คือ น้ำกรดกำมะถัน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องบดของแข็งให้ละเอียดเพื่อประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยากัน เครื่องมือในส่วนที่หนึ่งของโรงงานจึงประกอบด้วยเครื่องร่อนแร่ เครื่องบดต่าง ๆพร้อมทั้งถังเก็บ (Silo) และเครื่องส่งผงบ๊อคไซท์เข้าเครื่องปฏิกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 5.7

แร่บ๊อคไซท์ดิบจากลานเก็บแร่ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีหลังคา จะถูกขนจากเครื่องบดละเอียดหลังจากที่ถูกบดเป็นผงมีขนาดเล็กมาก (80 % ของผงเหล่านี้สามารถลอดผ่านตะแกรงขนาดเล็กกว่า 100 mesh ได้) ดังได้กล่าวแล้วว่า การบดแร่จนให้มีขนาดเล็กมีผลต่อประสิทธิภาพของการทำปฏิกิริยาระหว่างอลูมินา (Al_2O_3) ในบ๊อคไซท์กับกรดกำมะถัน เพราะถ้าแร่บ๊อคไซท์ (ซึ่งมีปริมาณอลูมินาอยู่ประมาณ 55 %) มีขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้น้ำกรดกำมะถันเข้าทำปฏิกิริยากับอลูมินาได้ยาก และใช้เวลานานเกินไป นอกจากนี้ยังจะทำให้อลูมินาบางส่วนไม่ได้ทำปฏิกิริยากับน้ำกรดอีกด้วย ซึ่งเป็นการสูญเสียอลูมินา

ผงแร่ละเอียดจะถูกส่งเข้าเครื่องดูดและเป่าฝุ่นไซโคลน (Cyclone dust Collector) ซึ่งมีเครื่องจับฝุ่น (Scrubber) เครื่องไซโคลนนี้จะทำหน้าที่ขนถ่ายแร่ละเอียดจากส่วนที่หนึ่งของโรงงานไปสู่ส่วนที่สองของโรงงานอย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ เป็นการขนถ่ายที่ไม่มีการสูญเสียวัตถุดิบ และเป็นการขนถ่ายอย่างสะอาด และถูกสุขลักษณะของโรงงานอุตสาหกรรม โดยจะทำให้โรงงาน



รูปที่ 5.6 แสดงกระบวนการผลิตสารส้มจากแร่บอกไซท์

ปราศจากฝุ่น ซึ่งนอกจากมีผลดีทางสุขภาพของคนงานและสิ่งแวดล้อมแล้วยังทำให้ส่วนต่าง ๆ ของโรงงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่สองของโรงงาน ซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวกับปฏิกริยาทางสารละลาย ปราศจากการเจือปนของสิ่งแปลกปลอม

จากเครื่องไซโคลนนี้ ผงบ๊อคไซท์ละเอียดจะถูกส่งไปยังถังเก็บผงบ๊อคไซท์ (Silo) เพื่อนำไปเข้าเครื่องชั่ง และถังส่ง (Weight hopper) เพื่อไปเข้าเครื่องปฏิกรณ์เพื่อทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ต่อไป การขนถ่ายของผงละเอียดจากเครื่องหรือถังหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่งควรจะเป็นท่อส่งแบบที่มีเกลียวหมุนภายในคือ Screw Conveyor

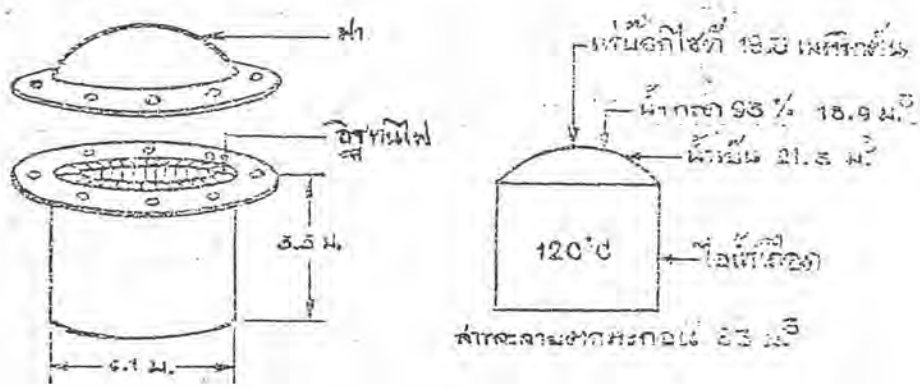
2.2.2 การคำนวณทางปริมาณสำหรับกระบวนการผลิต

จากความต้องการที่กำหนดไว้ จะออกแบบโรงงานผลิตสารส้มซึ่งมีกำลังการผลิตประมาณ 30,000 ตันต่อปี โดยมีขนาดกำลังการผลิตของอุปกรณ์ทางการผลิตต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ก. ขนาดของหม้อปฏิกรณ์

หม้อปฏิกรณ์ควรจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดได้ 6.1 เมตร และสูง 5.5 เมตร หม้อปฏิกรณ์หนึ่งหน่วยจะผลิตสารละลายสารส้มได้ประมาณ 25,000 ตัน โดยจะต้องผลิตด้วยการเกิดปฏิกริยาทางเคมีในหม้อปฏิกรณ์วันละ 2 เที่ยว แต่ละเที่ยวใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ได้เนื้อสารส้มประมาณ12,000 ตันเพื่อที่จะได้ผลผลิตสารละลายสารส้มและสารส้มก้อนรวมกัน 30,000 ตันต่อปี จำเป็นต้องใช้หม้อปฏิกรณ์จำนวนสองหน่วยในระยะการผลิตที่ 1 และ ระยะที่ 2 เพิ่มกำลังการผลิตเป็น 45,000 ตัน เพิ่มการทำงานล่วงเวลาและสองผลัด และในระยะการผลิตที่ 3 จะเพิ่มหม้อปฏิกรณ์และอุปกรณ์ทางการผลิตอีกหนึ่งชุด เป็นการเพิ่มกำลังการผลิดเป็น 60,000 ตันต่อปี

รูปที่ 5.7 แสดงโครงสร้างหม้อปฏิกรณ์และส่วนผสมวัตถุดิบในการทำปฏิกริยาทางเคมีให้เกิดผลผลิตเป็นสารละลายสารส้ม



รูปที่ 5.7 หม้อปฏิกรณ์

ข. ปริมาณของวัตถุดิบและผลผลิตสำหรับหม้อปฏิกรณ์

โดยการคาดคะเนว่าโรงงานนี้จะมีประสิทธิภาพในการผลิตถึง 90 % (หมายถึงการแปรสภาพจากอลูมินาเป็นสารส้ม) โรงงานจะต้องมีลานเก็บแร่บ็อคไซท์ดิบขนาด 8,000 เมตริกตัน และถังเก็บแร่บ็อคไซท์ผงที่บดได้ขนาดแล้ว มีขนาด 80 % ของผงสามารถผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ขนาดบรรจุได้ 80 เมตริกตันสองใบ

วัตถุดิบสำหรับหม้อปฏิกรณ์ในแต่ละผลัด ควรจะขนถ่ายตามลำดับ ดังต่อไปนี้

1) ใส่น้ำจำนวน 21.9 ลูกบาศก์เมตร

2) ใส่น้ำกรดกำมะถันที่มีความเข้มข้น 93 % โดยน้ำหนัก จำนวน 15.9 ลูกบาศก์เมตร

3) ผ่านไอน้ำเดือดเข้าไปในหม้อปฏิกรณ์จนกว่าอุณหภูมิภายในจะถึง 120 องศาเซ็นเซียส

4) ใส่ผงแร่บอกไซท์เข้าหม้อปฏิกรณ์อย่างช้า ๆ โดยรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในระดับ 120 องศาเซ็นเซียส ตลอดเวลา จำนวนแร่ทั้งหมด 19.3 เมตริกตัน

5) ตลอดเวลาของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกรดกับแร่บ็อคไซท์ อุณหภูมิจะอยู่ในระดับ 120 องศาเซ็นเซียส

โดยใช้วิธีควบคุมโดยการผ่านไอน้ำเดือดมากน้อยตามต้องการ เมื่อปฏิกิริยาสมบูรณ์ถึง 90 % แล้ว (ซึ่งวัดได้ด้วยการวัดความเป็นด่างของสารละลายภายในหม้อปฏิกรณ์) ใส่น้ำเย็นอีกจำนวนหนึ่ง เพื่อทำให้อุณหภูมิลดลงจนถึง 82 องศาเซ็นเซียส จากผลผลิตซึ่งเป็นสารละลายอลูมิเนียมซัลเฟตและตะกอนจำนวน 83 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงกว่าจำนวนน้ำและน้ำกรดรวมกัน (37.8 ลูกบาศก์เมตร) ที่ใส่เข้าไปในระยะเริ่มต้นเป็นจำนวน 83 - 37.8 = 45.2 ลูกบาศก์เมตร

จำนวนสารละลายและตะกอนที่เพิ่มขึ้นนี้ได้มาจากสิ่งต่างๆ ในระหว่างการทำปฏิกิริยา ดังนี้

ก) จำนวนไอน้ำเดือดที่ใส่เข้าไปเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิที่ 120 องศาเซ็นเซียส

ข) จำนวนน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยา

$$Al_2O_3 + 3\,H_2SO_4 \longrightarrow Al_2(SO_4)_3 + 3\,H_2O$$

ค) จำนวนน้ำเย็นที่ใส่เข้าไปในตอนที่ปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้ว เพื่อทำให้สารละลายเย็นลงถึงระดับ 82 องศาเซ็นเซียส

ค. ขนาดเครื่องกรองสูญญากาศ

เพื่อแยกตะกอนและสารละลายจากหม้อปฏิกรณ์จำนวน 83 ลูกบาศก์เมตร ออกจากกัน ผลผลิตจากหม้อปฏิกรณ์จะผ่านเข้าไปในเครื่องกรองแบบใช้สูญญากาศที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 เมตร และยาว 3 เมตร ระหว่างการกรองตะกอนที่ติดอยู่ภายในเครื่องกรองจะได้รับการล้างเพื่อเอาสารละลายอลูมิเนียมซัลเฟตที่ติดค้างอยู่ออกไป โดยใช้น้ำร้อน จากนั้นก็จะนำตะกอนไปทิ้งเป็นกาก สารละลายที่ผ่านออกมาจากเครื่องกรองแบบสูญญากาศนี้คือผลผลิตที่เป็นสารส้มน้ำที่มีความเข้มข้นตามความต้องการของลูกค้า สำหรับการผลิตสารส้มแข็งก็จะใช้สารส้มน้ำนี้มาระเหยทำให้เกิดความเข้มข้น แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้ตกผลึกจนแข็งแล้วทำการบดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการต่อไป

ง. อุปกรณ์การทำสารส้มแข็ง

ใช้เครื่องระเหยที่ทำด้วยเหล็กและมีอิฐทนไฟไว้ล้อมรอบอยู่ภายใน ขนาดที่สามารถบรรจุท่อไอน้ำที่ความดัน 100 psi ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 38 มิลลิเมตร และยาว 457 เมตร ขดอยู่ภายในเครื่องระเหย เครื่องระเหยนี้สามารถรับสารละลายได้จำนวน 15.1 ลูกบาศก์เมตรต่อหนึ่ง batch ในระยะเวลา batch ละ 4 ชั่วโมง สารละลายเข้มข้นจากเครื่องระเหยนี้จะไหลไปสู่ลานตกผลึก จำนวนสารส้มผลึกจากลานนี้จะมีปริมาณ batch ละ 10 เมตริกตัน

เมื่อผลึกสารส้มแห้งดีแล้ว ใช้รถบดวิ่งบดไปบนลานตกผลึกเพื่อทำให้ผลึกแตกออกเป็นชิ้น ๆ แล้วนำก้อนผลึกเหล่านี้ไปบดให้ได้ขนาดโดยเครื่องบดหยาบต่อไป เพื่อความสะดวกในการบดผลึกสารส้มให้ได้ขนาดตามต้องการ ก้อนผลึกจากลานตากจะถูกนำไปเก็บไว้ในถังเก็บก้อนผลึกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4 เมตร สูง 3 เมตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปบดให้ได้ขนาดตามต้องการแล้วนำมาผ่านเครื่องร่อนและเครื่องบรรจุถุง ขนส่งไปให้ลูกค้าต่อไป