

รายงานปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

โครงการการนำของเสีย(ชิปซั่ม)จากกระบวนการผลิตไปเป็นปูนปลาสเตอร์

โดย

นางสาวอรุณิชา ศรีจันทร์

B4611417

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา 432491 สหกิจศึกษา
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สิงหาคม 2550

รายงานปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

โครงการการนำของเสีย(ชิปซั่ม)จากกระบวนการผลิตไปเป็นปูนปลาสเตอร์

โดย

นางสาวอรุณิชา ศรีจันทร์

B4611417

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ผศ.ดร. สุตจิต ครุจิต

ผู้ประสานงานฝ่ายสถานประกอบการ

นางสาวเดือนณา แสงทอง

วิศวกรสิ่งแวดล้อม

บริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด

5/12 หมู่ 3 ต.บางกระเจ้า อ.เมือง

จ.สมุทรสาคร 74000

หนังสือรับรอง

รายงานสหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ
ภาคการศึกษาที่ 1/2550

ของ

นักศึกษา นางสาวอรุณิชา ศรีจันทร์

บริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด

ข้าพเจ้า นางสาวเดือนนภา แสงทอง ในฐานะผู้ประสานงานได้ตรวจสอบรายงานฉบับนี้
แล้ว เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2550 และขอรับรองว่ารายงานดังกล่าวมีความสมบูรณ์และถูกต้องใน
เนื้อหาทุกประการ

ลงชื่อ.....เดือนนภา.....

(น.ส. เดือนนภา 1155ทล)

วันที่ 27 / ก.ค. / 2550

หนังสือให้เผยแพร่รายงาน

เพื่อเป็นการส่งเสริมและพัฒนาการศึกษาของประเทศ ข้าพเจ้าในฐานะตัวแทนของ บริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด มีความประสงค์ให้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เผยแพร่หนังสือ ในรายงานของนักศึกษาได้โครงการสหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ ประจำปี 2550 ณ สถาน ประกอบการของข้าพเจ้าในส่วนของ “กิจกรรมที่นักศึกษาทำโครงการประจำปี 2550” “บทคัดย่อ” และ “ข้อเสนอแนวคิดโครงการ” ได้ โดย

อนุญาตให้ระบุชื่อบริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด

อื่นๆ (ระบุ).....

ลงชื่อ น.ส. ใจดวงนภ ผู้มีอำนาจกระทำการแทน
(..... น.ส. ใจดวงนภ) นิติบุคคล/ผู้ประกอบการ
วันที่ ๑7 เดือน พ.ศ. 2550

วันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2550

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา


เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ตามที่ข้าพเจ้า นางสาวอรุณิชา ศรีจันทร์ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ระหว่างวันที่ 17 เมษายน พ.ศ.2550 ถึง วันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ.2550 ในตำแหน่งผู้ช่วยวิศวกรสิ่งแวดล้อม ณ บริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด และได้รับมอบหมายให้ทำโครงการนำของเสีย(ยิปซัม)จากกระบวนการผลิตไปเป็นปูนปลาสเตอร์

บัดนี้การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้สิ้นสุดลงแล้ว ข้าพเจ้าจึงขอส่งรายงานดังกล่าวมา พร้อมกันนี้ จำนวน 1 เล่ม เพื่อขอรับคำปรึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ด้วยความเคารพอย่างสูง



(นางสาวอรุณิชา ศรีจันทร์)

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgment)

การที่ข้าพเจ้าได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด ตั้งแต่วันที่ 17 เมษายน พ.ศ. 2550 ถึง 3 สิงหาคม พ.ศ. 2550 ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ที่เกิดได้จากปฏิบัติงานจริง ได้เรียนรู้การปรับตัวเข้ากับบุคคลและวัฒนธรรมองค์กร ของสถานประกอบการ จึงทำให้งานปฏิบัติงานสหกิจศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี พร้อมทั้งนี้ในระหว่างการทำงานยังได้รับคำแนะนำ ความร่วมมือและสนับสนุนจากบุคคลทุกฝ่ายของสถานประกอบการ อันประกอบด้วย

1. คุณพันธ์ณรงค์ จินดาโชตสิริ (รองผู้จัดการโรงงาน) ที่เล็งเห็นความสำคัญของระบบการศึกษาแบบสหกิจศึกษา และได้ให้โอกาสที่มีค่ายิ่งแก่ข้าพเจ้า
2. คุณกัญชัช ตูลยพงศ์รักษ์ (ผู้จัดการฝ่ายบริหารทั่วไป)
3. คุณเดือนณภา แสงทอง (วิศวกรสิ่งแวดล้อม) ซึ่งเป็น Job Supervisor
4. คุณเอกลักษณ์ จันทร์ศุภมงคล (วิศวกรเคมี)

พนักงานประจำฝ่ายสิ่งแวดล้อมทุกท่าน และบุคคลท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ และช่วยในเรื่องต่างๆ ที่เป็นประโยชน์และมีคุณค่าสำหรับการปฏิบัติงานในการสหกิจศึกษาในครั้งนี้อย่างยิ่ง ทำให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้ ประสบการณ์ และนำทักษะที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในเรื่องการทำงานการปรับตัวเข้ากับผู้อื่น

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการเก็บข้อมูลในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนขอให้การดูแล และบริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด ที่มีส่วนร่วมในการส่งเสริมการปฏิบัติสหกิจศึกษาในครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

นางสาวอรณิชา ศรีจันทร์

ผู้จัดทำรายงาน

27 กรกฎาคม 2550

บทคัดย่อ

บริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด เป็นโรงงานอุตสาหกรรมกรดซีตริก (กรดมะนาว) จากการที่ได้เข้าไปปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษาในบริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด ได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิศวกรสิ่งแวดล้อม ซึ่งการเข้าไปปฏิบัติงานสหกิจศึกษาในครั้งนี้ได้ปฏิบัติงานต่างๆ ดังนี้

1. ศึกษากระบวนการผลิตกรดมะนาวตั้งแต่วัตถุดิบจนถึงผลิตภัณฑ์
2. ดูแลระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ
3. ศึกษากลไกการซื้อขายคาร์บอนเครดิต และ
4. ศึกษาโครงการนำของเสีย(ยิปซัม)จากกระบวนการผลิตไปเป็นปุ๋ยพลาสติก

จากกระบวนการผลิตกรดมะนาวนั้นก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมในเรื่องกากของเสียยิปซัม จึงได้นำเทคโนโลยีสะอาดมาศึกษาการนำของเสีย(ยิปซัม)จากกระบวนการผลิตไปเป็นปุ๋ยพลาสติก ยิปซัมจากกระบวนการผลิตจะทำการทดลองโดยนำมาล้างน้ำ ตากแดดเป็นระยะเวลา 7 วัน หาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผา ยิปซัมจากค่าความชื้นที่จะทำให้ในผลึกยิปซัม 2 โมเลกุลเหลือน้ำในผลึกครึ่งโมเลกุล และนำไปขึ้นรูปด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมภายใต้อุณหภูมิและระยะเวลาในการเผาแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงานปุ๋ยพลาสติกแล้วจะศึกษาคุณลักษณะความเหมาะสมการนำไปใช้งานจากยิปซัม ได้แก่ ระยะเวลาการก่อตัว ความต้านทานแรงอัด และอัตราการดูดซึมน้ำ ซึ่งจากผลการดำเนินการเปรียบเทียบได้ว่าคุณสมบัติของปุ๋ยพลาสติกของทางบริษัทมีความใกล้เคียงกับปุ๋ยพลาสติกที่ขายตามท้องตลาด โดยจะเห็นได้ว่าปุ๋ยพลาสติกที่เผาอุณหภูมิสูง ความต้านทานแรงกดอัดจะมาก อัตราการดูดซึมน้ำของปุ๋ยพลาสติกจะน้อย รุพุนน้อย ซึ่งแตกต่างกับปุ๋ยพลาสติกที่เผาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะมีรพุนมาก มีค่าความแข็งแรงต่ำดูดซึมน้ำมาก ซึ่งการนำเทคโนโลยีสะอาดเข้ามาช่วยในการจัดการกากของเสียโดยศึกษาเป็นการลงทุนอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยจะช่วยทำให้สถานประกอบมีกำไร 23.9 ล้านบาท/ปี และสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 1.22 ปี ซึ่งถือเป็นการลดของเสียในกระบวนการผลิตสามารถทำให้ลดค่าใช้จ่าย และยังส่งผลให้มีกำไรและส่งเสริมรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

สารบัญ

	หน้า
จดหมายนำส่ง	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 แนะนำสถานประกอบการ	
1.1 ชื่อและที่ตั้ง	1
1.1.1 ประวัติบริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด	1
1.2 ลักษณะการประกอบการ ผลิตภัณฑ์ หรือการให้บริการ	2
1.2.1 นโยบายคุณภาพ	3
1.2.2 การได้รับรองมาตรฐาน	4
1.3 รูปแบบการจัดองค์กรและการบริหารงาน	4
1.4 ลักษณะปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ได้ตรวจประเมิน	5
1.5 ตำแหน่งและลักษณะงานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย	9
1.6 ชื่อและตำแหน่งงานของพนักงานที่ปรึกษา	9
1.7 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน	10
1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา	10
บทที่ 2 งานประจำที่ได้รับมอบหมาย	
2.1 ศึกษาดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย UASB และการผลิตก๊าซชีวภาพ	11
2.1.1 ความเป็นมา	11
2.1.2 วัตถุประสงค์	11
2.1.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	12
2.1.4 ลักษณะการปฏิบัติงาน	15
2.1.5 ผลการปฏิบัติงาน	16
2.2 ศึกษากลไกการซื้อขายคาร์บอนเครดิต	17
2.2.1 ความเป็นมา	17

สารบัญ(ต่อ)

2.2.2	วัตถุประสงค์	18
2.2.3	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	18
2.2.4	ลักษณะการปฏิบัติงาน	21
2.2.5	ผลการปฏิบัติงาน	21
บทที่ 3 โครงการการนำของเสีย (ยิปซัม) จากกระบวนการผลิตไปเป็นปูนปลาสเตอร์		
3.1	ความเป็นมา	22
3.2	วัตถุประสงค์	22
3.3	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	23
3.3.1	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแรยิปซัม	23
3.3.2	ศึกษาเทคโนโลยีสะอาดในการลดกากของเสีย	26
3.4	วิธีการดำเนินโครงการ	29
3.4.1	ศึกษากระบวนการผลิตกรดมะนาว	31
3.4.2	ศึกษากระบวนการเกิดกากของเสียยิปซัม	37
3.4.3	การทดสอบหาค่า%ความชื้น	38
3.4.4	การทดลองผลิตปูนปลาสเตอร์ของโรงงาน	39
3.4.5	การดำเนินการทดสอบค่าทางวัสดุวิศวกรรม	40
3.5	ผลการดำเนินโครงการ	41
3.5.1	ผลการทดสอบการหาค่าความชื้น	42
3.5.2	ผลการทดสอบเวลาที่ใช้ในการก่อตัว	43
3.5.3	ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด	47
3.5.4	ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ	50
3.5.5	วิเคราะห์ความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน	53
3.5.6	วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์	55
3.6	สรุปผลการดำเนินโครงการ	56
3.7	ข้อเสนอแนะสำหรับโครงการในอนาคต	57
บทที่ 4 สรุปผลการปฏิบัติงาน		
4.1	สรุปผลการปฏิบัติงาน	58
4.1.1	ด้านกระบวนการผลิตกรดมะนาว	58

สารบัญ(ต่อ)

4.1.2	ด้านระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ	58
4.1.3	ด้านการซื้อขายคาร์บอนเครดิต	58
4.1.4	ด้านการนำของเสีย(ยิปซัม)มาผลิตเป็นปูนปลาสเตอร์	59
4.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ	60
4.2.1	ปัญหา	60
4.2.2	ข้อเสนอแนะ	60

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ข.

ภาคผนวก ค.

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ลักษณะน้ำเสียในระบบการผลิตกระดาษ	8
ตารางที่ 1.2 มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม	8
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติมาตรฐานยิปซัมธรรมชาติ	24
ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะทางกายภาพของยิปซัมโรงงาน	38
ตารางที่ 3.3 การคำนวณค่าใช้จ่ายเครื่องจักรและอุปกรณ์	55
ตารางที่ 3.4 การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า	55
ตารางที่ 3.5 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	56

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงกระบวนการผลิตกรดมะนาว	7
รูปที่ 2.1 กระบวนการย่อยสลายมลสารในระบบ UASB	12
รูปที่ 2.2 ผังขบวนการบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ	14
รูปที่ 3.1 ปฏิกริยาการเกิด Gypsum Plaster	26
รูปที่ 3.2 วิธีดำเนินงานเทคโนโลยีที่สะอาด	26
รูปที่ 3.3 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน	30
รูปที่ 3.4 โครงสร้างโมเลกุลของกรดมะนาว	31
รูปที่ 3.5 Process Flow Diagram of Citric Acid Manufacture	33
รูปที่ 3.6 แผนผังกระบวนการผลิตกรดมะนาว	36
รูปที่ 3.7 กระบวนการเกิดกากของเสีย	37
รูปที่ 3.8 แผนภูมิการทดลอง%ความชื้นและอุณหภูมิที่ใช้เผาปิปชั่น	38
รูปที่ 3.9 แผนภูมิแสดงค่าอุณหภูมิและ W/P ratio ของการผลิตปูนปลาสเตอร์	39
รูปที่ 3.10 วิธีการทดสอบเวลาที่ใช้ในการก่อตัวของปูนปลาสเตอร์	40
รูปที่ 3.11 วิธีการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของปูนปลาสเตอร์	41
รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันที่ตากแดดกับ%ความชื้น	42
รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันที่ตากแดดกับอุณหภูมิที่เผา	43
รูปที่ 3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับเวลาในการก่อตัวที่เผา 140°C	44
รูปที่ 3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับเวลาในการก่อตัวที่เผา 160°C	45
รูปที่ 3.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับเวลาในการก่อตัวที่เผา 180°C	46
รูปที่ 3.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับความต้านทานแรงอัดที่เผา 140°C	47
รูปที่ 3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับความต้านทานแรงอัดที่เผา 160°C	48
รูปที่ 3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับความต้านทานแรงอัดที่เผา 180°C	49
รูปที่ 3.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับอัตราการดูดซึมน้ำที่เผา 140°C	50
รูปที่ 3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับอัตราการดูดซึมน้ำที่เผา 160°C	51
รูปที่ 3.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับอัตราการดูดซึมน้ำที่เผา 180°C	52
รูปที่ 3.23 ลักษณะสีปิปชั่นจากกระบวนการผลิตที่ยังไม่ล้างน้ำและล้างน้ำ	53
รูปที่ 3.24 ลักษณะสีปูนปลาสเตอร์ตามท้องตลาดและปูนปลาสเตอร์ทางบริษัท	54

บทที่ 1

แนะนำสถานประกอบการ

1.1 ชื่อและที่ตั้ง

ที่ตั้งโรงงาน : บริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด 5/12 หมู่ 3 ตำบลบางกระเจ้า อำเภอเมือง
จังหวัดสมุทรสาคร 74000

สำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่ : 29/222 หมู่ 1 ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงแสมดำ เขตบางขุน
เทียน จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10150

1.1.1 ประวัติบริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด

ในปี พ.ศ. 2510 คุณธเนต จินดาโชตสิริ นายช่างผู้มีความชำนาญทางด้านงานกลึงและ
พืดปรับ ได้เริ่มดำเนินการดำเนินการซ่อมและสร้างชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ จนได้รับความไว้วาง
ใจจากลูกค้ามากมาย สามารถขยายกิจการทางด้าน การสร้างและติดตั้งเครื่องจักรในสายการผลิต
ในอุตสาหกรรมต่างๆ ต่อมาได้เล็งเห็นความสำคัญของอุตสาหกรรมเคมีพื้นฐาน จึงได้เริ่มก่อตั้ง
กลุ่มผู้ผลิตและจัดจำหน่ายเคมีพื้นฐานขึ้น เพื่อขยายขอบข่ายธุรกิจของกลุ่มแบบครบวงจรและ
รองรับการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมต่อเนื่องได้

เนื่องจากสมัยก่อน กรดซีตริก หรือกรดมะนาว ซึ่งเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมประเภท
อาหารและเครื่องดื่ม ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ดังนั้นบริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด จึงได้ก่อตั้ง
ขึ้นเมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ.2533 และได้เดินเครื่องเพื่อทำการผลิตกรดมะนาว เมื่อปี พ.ศ.2536
โดยเริ่มแรกได้ตั้งสำนักงานใหญ่อยู่ที่ เลขที่ 660 ชั้น 2 ห้อง 216 อาคารโรงภาพยนตร์รามมา ถนน
พระราม 4 แขวงมหาพฤฒาราม เขตบางรัก จังหวัดกรุงเทพฯ 10500 ต่อมา เมื่อวันที่ 4 ตุลาคม
2537 ทางบริษัทฯ ได้ทำการย้ายสำนักงานใหญ่ซึ่งตั้งอยู่ที่ 29/222 หมู่ 1 ถนนบางขุนเทียน-ชาย
ทะเล แขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10150 เนื่องจากมีการขยายกิจการ
ของบริษัทฯ ทำให้ต้องเพิ่มจำนวนบุคลากรและเนื้อที่ในการดำเนินการ จึงได้มีการก่อตั้งโรงงานที่
ใช้ทำการผลิตกรดมะนาวซึ่งมีพนักงานทั้งสิ้น 120 คน ซึ่งในปัจจุบันมีกลุ่มบริษัทในเครือประกอบ
ด้วย 3 บริษัทหลัก คือ

- บริษัท อ.โลหะเกษมโชค จำกัด
- บริษัท สหไพศาลอินดัสทรี จำกัด
- บริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด

บริษัท ธ.โลหะเกษมโชค จำกัด

เป็นต้นกำเนิดของบริษัทในเครือ กลุ่มผู้ผลิตเคมีพื้นฐานคือ บริษัท สหไพศาลอินดัสทรี จำกัด และ บริษัท ไทยซิติริก แอซิด จำกัด โดยทำหน้าที่เป็นหน่วยงานที่ให้การสนับสนุนทางด้านวิศวกรรม เพื่อการสร้างและซ่อมบำรุงเครื่องจักรให้กับบริษัทในเครือและงานโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ บริษัทได้ดำเนินธุรกิจประสบความสำเร็จ มีการขยายงานอย่างต่อเนื่องมามากกว่า 30 ปี ลักษณะงานที่ทางบริษัทเชี่ยวชาญ และมีเครื่องมือพร้อมที่จะให้บริการ เช่น งานหล่อโลหะ งานขึ้นรูปโลหะที่เป็นมาตรฐาน คือ กิ่ง ตัด ไส เจาะ คิวาน กัดเฟือง และบริการและปรับปรุง ระบบไฮดรอลิคของโรงงานผลงานที่สร้างชื่อเสียงและความภาคภูมิใจ อาทิ โรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมผลิตเส้นใย อุตสาหกรรมสุรา และอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ เป็นต้น

บริษัท สหไพศาลอินดัสทรี จำกัด

เป็นบริษัทที่ดำเนินการด้านการผลิตและจำหน่ายเคมีภัณฑ์พื้นฐานที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบหลัก เช่น กำมะถันบริสุทธิ์ ไอเลียม กรดกำมะถัน สารส้มใสและซูน โซเดียมซัลไฟด์ โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์เพอร์ซัลเฟต และคอปเปอร์ซัลเฟต ซึ่งเป็นเคมีพื้นฐานที่สำคัญต่ออุตสาหกรรมต่างๆ มากมายในประเทศ บริษัทได้ร่วมมือกับบริษัทในเครือ พัฒนาระบบการผลิตและสร้างเครื่องจักรที่ใช้ในสายการผลิตขึ้น ทำให้บริษัทมีเทคโนโลยีเป็นของตนเองโดยไม่ต้องพึ่งเทคโนโลยีจากต่างประเทศ พร้อมกันนี้ผลิตภัณฑ์ได้ผ่านการตรวจสอบและขึ้นทะเบียนรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

1.2 ลักษณะการประกอบการ ผลิตภัณฑ์ หรือการให้บริการ

บริษัท ไทยซิติริก แอซิด จำกัด เป็นบริษัทที่ผลิตและจำหน่ายกรดมะนาว ซึ่งเป็นส่วนประกอบอยู่ในผลไม้ตระกูลส้ม มะนาว และสับปะรด ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเครื่องดื่มและอาหาร, อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง

กรดมะนาว แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ โมโนไฮเดรต และแอนไฮดรัส มีความสำคัญอย่างยิ่งในการแปรรูปและถนอมอาหาร โดยเป็นสารปรับรสชาติและรักษาคุณภาพอาหาร เนื่องจากเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี โดยกรดซิติริกหรือกรดมะนาวโมโนไฮเดรตจะมีลักษณะแห้งเป็นเม็ดผลึก ซึ่งจะมีการผ่านกระบวนการต่างๆ ส่วนแอนไฮดรัสจะผ่านกระบวนการต่างๆ คล้ายโมโนไฮเดรต แต่โมโนไฮเดรตจะมีน้ำ 1 โมเลกุล ทั้ง 2 ชนิดนี้มีการส่งขายทั่วประเทศและส่งออกต่างประเทศ ซึ่งผลิตภัณฑ์โดยส่วนใหญ่จะผลิตเป็นโมโนไฮเดรต โดยคิดเป็นอัตราส่วนดังนี้

โมโนไฮเดรต คิดเป็น 95 %

แอนไฮดรัส คิดเป็น 5 %

การที่โมโนไฮเดรตนั้นมีการผลิตมากกว่านั้นเพราะจะผลิตแอนไฮดรัสเมื่อมีการสั่งการผลิต จากอุตสาหกรรมต่างๆที่ต้องการการส่งขายในประเทศและการส่งออกต่างประเทศ

จำหน่ายตลาดในประเทศ คิดเป็น 95 %

จำหน่ายตลาดต่างประเทศ คิดเป็น 5 %

ตลาดภายในประเทศนั้น ซึ่งมีบริษัทที่ผลิตจำหน่ายแล้วทั้งประเทศ 4 บริษัท และมีการนำ เข้าจากต่างประเทศ รวมแล้วจะมีความต้องการกรดซิตริกภายในประเทศประมาณ 4000 – 6000 ตันต่อปี โดยคิดเป็นอัตราส่วนดังนี้

บริษัทไทยซิตริก คิดเป็น 40 % ของตลาดภายในประเทศ

บริษัทในประเทศไทย คิดเป็น 20 % ของตลาดภายในประเทศ

นำเข้าจากต่างประเทศ คิดเป็น 40 % ของตลาดภายในประเทศ

สำหรับตลาดต่างประเทศ ทางบริษัทฯ ได้มีการนำผลิตภัณฑ์ ไปจำหน่ายยังประเทศต่างๆ เช่น พม่า ลาว เขมร ใต้หวัน เป็นต้น

1.2.1 นโยบายคุณภาพ

บริษัท ไทยซิตริก แอซิด จำกัด เป็นผู้ผลิตกรดซิตริกที่ตระหนักถึงความสำคัญของคุณภาพผลิตภัณฑ์ และความปลอดภัยของผู้บริโภคที่ใช้ผลิตภัณฑ์ของบริษัท จึงได้กำหนดเป้าหมาย ในการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ เป็นที่พึงพอใจของลูกค้า ถูกสุขลักษณะ และปลอดภัยแก่ผู้บริโภค ตามมาตรฐานสากล เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามนโยบายที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น บริษัทจะ ดำเนินการทุกวิถีทางเพื่อให้เกิดความมั่นใจ มีผลนำไปสู่การปฏิบัติได้อย่างจริงจังและต่อเนื่องใน แนวทางดังต่อไปนี้

1. จัดระบบงานและการบริหารจัดการด้านสุขลักษณะอาหาร ตามข้อกำหนดของโครงการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO (General Principles of Food Hygiene) (CAV/RCP1-1969, Rev.3 (1997), Supplement to Volume I B)

2. ให้การสนับสนุนในด้านทรัพยากรที่จำเป็นอย่างเพียงพอ ต่อการจัดการด้านคุณลักษณะ ตรวจสอบติดตามและพัฒนาปรับปรุงกระบวนการจัดการให้มีประสิทธิภาพ และเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

3. พัฒนาบุคลากรในทุกระดับให้มีความเข้าใจและสามารถปฏิบัติตามนโยบายได้อย่างถูกต้องตรงตามเป้าหมายที่ได้วางไว้

4. จัดให้มีการเผยแพร่ข้อมูลและให้ความรู้แก่พนักงานในเรื่องการผลิตอาหารที่ดี เพื่อสร้างจิตสำนึกให้ดีให้เกิดกับพนักงานบริษัท

1.2.2 การได้รับรองมาตรฐาน

ทางบริษัทไทยซีตริก แอซิด จำกัด นั้นมีความมุ่งมั่นเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตที่ปลอดภัยและคำนึงถึงระบบการจัดการภายในโรงงาน และได้ขอรับรองพร้อมทั้งพัฒนากระบวนการผลิตจนได้รับรองมาตรฐานต่างๆ ดังนี้

- GMP GMP (Good Manufacturing Practice) หลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในกระบวนการผลิต เป็นระบบควบคุมการผลิตอาหารให้ปลอดภัยต่อการบริโภค
- HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) เป็นระบบวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม
- โคเชอร์ เกี่ยวกับการนำไปผสมอาหารที่จะรับประทานของศาสนาอิสลาม
- ฮาลาล การรับประทานอาหารและสิ่งเจือปนที่จะต้องได้รับรอง โดยเกี่ยวกับศาสนาอิสลาม

กิจกรรมที่กำลังดำเนินการ

- 5 ส
- การอนุรักษ์พลังงาน
- กิจกรรมรักษาความปลอดภัยภายในโรงงาน

1.3 รูปแบบการจัดองค์กรและการบริหารงาน

บริษัทไทยซีตริก แอซิด จำกัด ได้มีการกำหนดรูปแบบการบริหารองค์กรโดยการแยกส่วนผลิตออกจากสำนักงานใหญ่ โดยสำนักงานใหญ่เป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ประสานงาน ติดต่อกับหน่วยงานภายนอกโดยเน้นกิจกรรมที่เกี่ยวกับการเงิน บัญชี การจัดซื้อจัดจ้าง และการบริหารงานที่เกี่ยวกับธุรการและการบริหารบุคลากรทั้งหมด และในส่วนของโรงงานจะเป็นลักษณะการปฏิบัติงานเริ่มจากผู้จัดการลงไปจนถึงพนักงาน โดยมีรองผู้จัดการโรงงานทำหน้าที่กำกับดูแลฝ่ายที่สำคัญ 6 ฝ่าย คือ

- 1) ฝ่ายผลิตที่ 1
- 2) ฝ่ายผลิตที่ 2
- 3) ฝ่ายวิศวกรรม
- 4) ฝ่ายบริหารทั่วไป

- 5) ฝ่ายควบคุมคุณภาพ
- 6) ฝ่ายสิ่งแวดล้อม

1.4 ลักษณะปัญหาสิ่งแวดล้อมของสถานประกอบการและกระบวนการผลิตที่ได้ตรวจ ประเมิน

ในการตรวจประเมินกระบวนการผลิตกรดมะนาวแบ่งออกเป็น 2 ฝ่ายการผลิต คือ ฝ่ายผลิตที่ 1 ได้แก่ แผนกเตรียมมัน แผนกหมัก แผนกกรอง และฝ่ายผลิตที่ 2 ได้แก่ แผนกตกเกลือ-สลายกรด แผนกแลกประจุแผนกเคี้ยว-ตกผลึก แผนกสะบัดแห้ง แผนกอบแห้ง และบรรจุ

ขั้นตอนของฝ่ายการผลิตที่ 1 จะเริ่มจากแผนกเตรียมมันซึ่งจะรับวัตถุดิบ คือ มันสำปะหลัง มาตีมันหยาบ และตีมันละเอียดเพื่อให้ได้เป็นผงเตรียมผสมกับน้ำร้อนลงบ่อผสมแบ่ง และส่งไปยังแผนกหมัก ในการหมักจะหมักทิ้งไว้ประมาณ 8 ชม. โดยมีการเติมปุ๋ย, น้ำยาลดฟอง และมีการควบคุมอุณหภูมิและความดันในถังหมัก เติมน้ำเพื่อปรับ pH เมื่อหมักครบตามเวลาที่กำหนด จะส่งต่อไปยังแผนกกรองเพื่อแยกกรดซิตริกและกากมันออกจากกัน กรดซิตริกที่ได้จะส่งสู่ถังเก็บกรดเพื่อส่งต่อแผนกตกเกลือ-สลายกรด ส่วนกากมันที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกรองนี้จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ขั้นตอนของฝ่ายการผลิตที่ 2 จะรับกรดที่ส่งต่อจากแผนกกรองไปสู่แผนกตกเกลือ-สลายกรด การตกเกลือจะทำให้กรดซิตริกอยู่ในรูปแคลเซียมซิเตรท (แบ่งเกลือ) ส่วนการสลายกรดแบ่งเกลือที่ได้จะผ่านการเติมกำมะถันและผงถ่านเข้าไปเพื่อทำการจับสี, โปรตีน และสิ่งเจือปนอื่นๆ ของผสมนี้จะผ่านลงเครื่องกรองเพื่อล้างกรดมะนาวที่ค้างในยิปซัมออก ในขั้นตอนนี้ของเสียอีกอย่างหนึ่งที่ได้จะเกิดเป็นยิปซัม จากนั้นส่งต่อไปยังแผนกแลกประจุซึ่งจะดักจับไอออนต่างๆ ที่ไม่ต้องการให้เจือปนไปกับสารละลายกรดมะนาว จะทำให้กรดมะนาวมีความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น แล้วจึงส่งไปเคี้ยว เพิ่มความเข้มข้น ต่อจากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการตกผลึกให้ได้เม็ดกรด แล้วส่งต่อไปยังกระบวนการสะบัดแห้งทำการแยกผลึกกรดมะนาวออกมาให้ได้เม็ดกรดที่มีลักษณะขาว ใส เป็นมันวาว แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายคือกระบวนการอบแห้ง ร้อนคัดแยกขนาดเม็ดกรดออกมาและบรรจุเม็ดกรดลงถุงบรรจุภัณฑ์ เพื่อนำไปจำหน่ายต่อไป

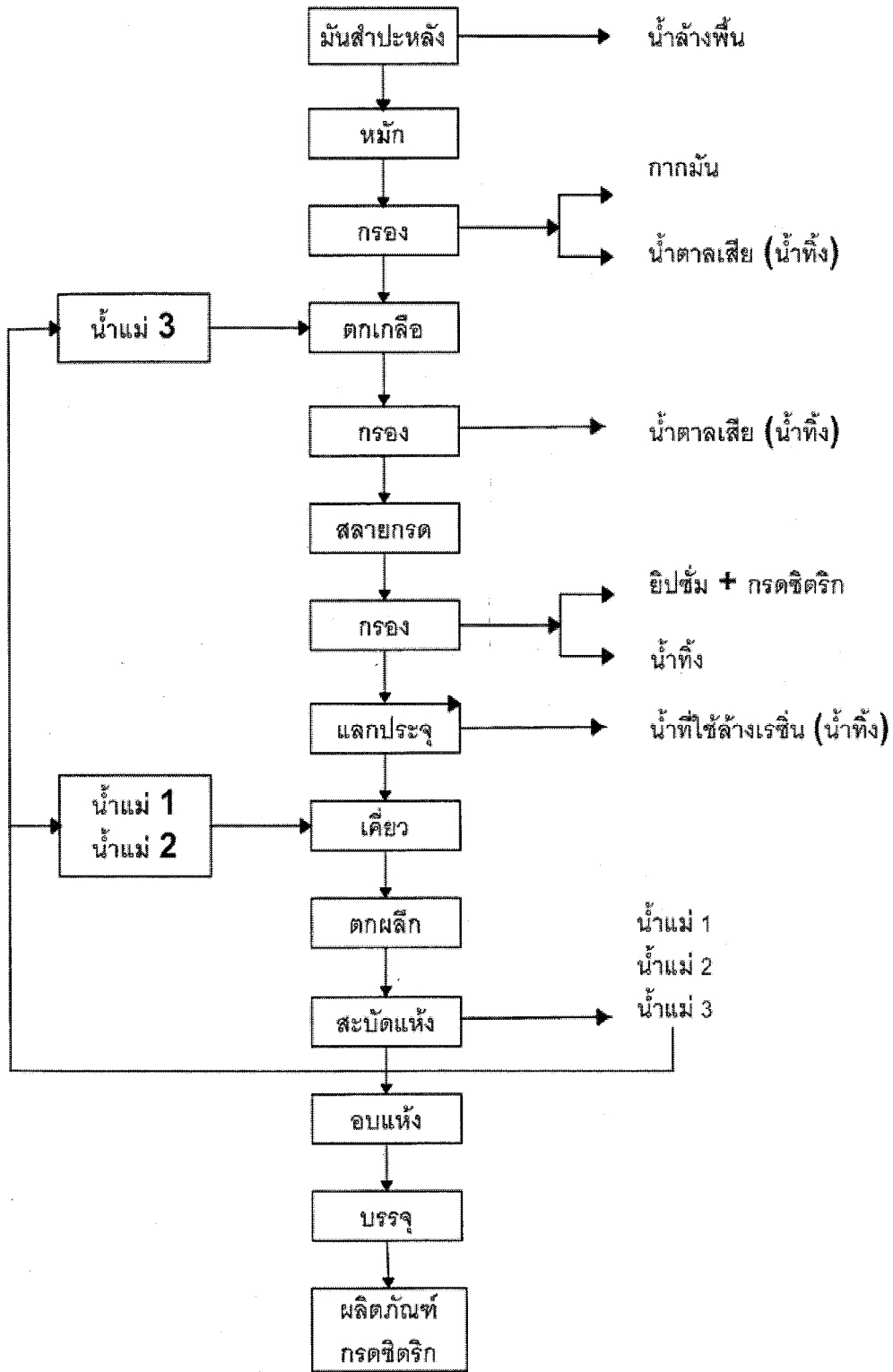
1.4.1 วิเคราะห์กระบวนการผลิตกรดมะนาว

จากการที่ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ในตำแหน่งผู้ช่วยวิศวกรสิ่งแวดล้อม ได้ทำการศึกษาด้านขั้นตอนกระบวนการผลิตกรดมะนาวภายในโรงงานและได้ตรวจประเมินปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น โดยจากการศึกษาทำให้ทราบว่าในกระบวนการผลิตของเสียที่เกิดขึ้นนั้นมีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ น้ำเสีย และ ของเสียที่ไม่ใช่ น้ำ อันได้แก่ กากมัน ยิปซัมและขยะ ดังนี้

1) น้ำเสีย เกิดจากขั้นตอนกระบวนการผลิตและจากการล้างทำความสะอาด โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตกเกลือนี้ เกิดขึ้นเนื่องจากการกรองแยกแ่งเกลือออกจากน้ำตาลเสีย โดยใช้เครื่อง Belt Filter เป็นตัวคูดน้ำตาลเสียออกจากแ่งเกลือ น้ำร้อนจะล้างทำความสะอาดแ่งเกลือที่มีน้ำตาลเสียติดอยู่ออกไป น้ำตาลเสียที่ถูกแยกออกและน้ำเสียที่เกิดจากการล้างเรซินนี้จะถูกส่งต่อไปเพื่อทำการบำบัด ส่วนน้ำเสียที่เกิดขึ้นอื่นๆ จะเกิดจากการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ทำการผลิต

2) ของเสียที่ไม่ใช่ น้ำ ได้แก่ กากมัน ยิปซัม และขยะ โรงงานผลิตกรดมะนาวจะรวบรวมกากมันที่เหลือจากกระบวนการผลิตส่งไปยัง สถานที่ที่มีการจัดวางกากมันอย่างเหมาะสม การย้ายกากมันจะใช้รถตักนำกากมันไปตากแดดเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการทำดินผสม นำออกขายสู่ตลาด ส่วนยิปซัมที่เป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในฝ่ายผลิตที่ 2 ของแผนกตกเกลือ-สลายกรด จะใช้แรงดันจากปั๊มส่งยิปซัมไปยังสถานที่กักเก็บที่จัดไว้เฉพาะ แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้แห้งตามธรรมชาติ ยิปซัมที่เป็นของเสียนี้ ยังไม่ได้รับการสิ่งแวดล้อมที่ดีจึงยังคงเป็นปัญหาให้กับทางโรงงานอยู่ประการหนึ่ง โดยแสดงภาพถ่ายการเกิดยิปซัมไว้ในภาคผนวกที่ ก.1 ส่วนขยะ ทางโรงงานได้มีการจัดวางถังขยะแบบฝาปิดรองรับขยะในตัวอาคารผลิต และนอกอาคารผลิตไว้อย่างเพียงพอและเหมาะสม ซึ่งสามารถป้องกันกลิ่นและหลีกเลี่ยงปัญหาของสัตว์พาหะนำเชื้อต่างๆ

ดังนั้นของเสียเกือบทั้งหมดจากโรงงานผลิตกรดมะนาว จึงได้แก่ น้ำเสียและยิปซัม โดยแผนภูมิข้างล่างนี้จะแสดงถึงกระบวนการผลิตกรดมะนาวในแหล่งกำเนิดหรือที่มาของเสียจากกระบวนการผลิตดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนภูมิแสดงกระบวนการผลิตกรดมะนาว

1.4.2 ปัญหาสิ่งแวดล้อมและผลกระทบต่ออุตสาหกรรม

ปริมาณน้ำเสียจากโรงงานผลิตกรดมะนาวนี้เกิดขึ้นวันละ 600 m³/d ซึ่งลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแสดงไว้ในตารางที่ 1.1 โดยพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดนี้จะใช้เทียบกับค่าลักษณะน้ำเสียของมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม ดังตารางที่ 1.2 ดังนี้

ตารางที่ 1.1 ลักษณะน้ำเสียในกระบวนการผลิตกรดมะนาว

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
pH	7.51
BOD (mg/l)	6.3
COD (mg/l)	132.0
Suspended Solids (mg/l)	25.8
Dissolved Solids (mg/l)	775.7

ตารางที่ 1.2 มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
pH	5.5 – 9.0
BOD (mg/l)	60.0
COD (mg/l)	120.0
Suspended Solids (mg/l)	50
Dissolved Solids (mg/l)	3,000

ซึ่งการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำ พบว่าคุณภาพน้ำทิ้งส่วนใหญ่มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน แต่ค่า COD ยังมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดอยู่

1.4.3 การลดปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิต

ของเสียจากการผลิตกรดมะนาวมีด้วยกัน 2 ประเภท คือ ของเสียที่ไม่ใช่ น้ำ ซึ่งสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ และของเสียส่วนใหญ่ที่เป็นน้ำ ซึ่งทั้งสองประเภทนี้สามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นได้ คือ

1. การลดปริมาณการใช้น้ำ มีวิธีการประหยัดน้ำได้หลายวิธี ดังนี้
 - ติดตั้ง Flow meter และเครื่องบันทึกการใช้น้ำ เพื่อดูปริมาณการใช้น้ำ
 - การทำความสะอาดเครื่องมือด้วยเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง

2. การนำมาแปรรูป (recycle)

- นำกากของเสียไปใช้ประโยชน์เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์
- นำกากมันไปใช้ประโยชน์ในการทำดินผสม

1.4.4 แนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม

การดำเนินงานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม ทำได้โดย

1. ประหยัดวัตถุดิบ ได้แก่ พลังงาน น้ำใช้ สารเคมีและวัตถุดิบ เป็นต้น

2. ปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์

3. ควบคุมผลพลอยได้ (by-product) และวัสดุเศษเหลือ (residues) จากการผลิตและนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด

4. ลดปริมาณของวัสดุเศษเหลือที่ไม่สามารถนำใช้ประโยชน์ได้ และหาทางกำจัดอย่างเหมาะสม

การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมถือเป็นแนวทางการจัดการที่ไม่มีต้นทุนหรือมีต้นทุนในการดำเนินการต่ำ สามารถดำเนินการได้ทันที โดยการจัดระเบียบภายในโรงงานและกระบวนการผลิต ทำให้สามารถปฏิบัติงานได้อย่างสะดวกและปลอดภัยมากขึ้น

1.5 ตำแหน่งและลักษณะงานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย

ตำแหน่งที่ได้รับ ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิศวกรสิ่งแวดล้อม ซึ่งลักษณะงานที่ได้รับมอบหมายคือ

- 1) ศึกษากระบวนการผลิตทั้งหมดตั้งแต่วัตถุดิบจนถึงผลิตภัณฑ์
- 2) ศึกษาดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย UASB
- 3) ศึกษาหลักการซื้อขายคาร์บอนเครดิต
- 4) ศึกษาและทดลองการนำขยะไปเป็นปุ๋ยพลาสติกเทอร์

1.6 ชื่อและตำแหน่งงานของพนักงานที่ปรึกษา

นางสาวเดือนธนา แสงทอง

ตำแหน่งวิศวกรสิ่งแวดล้อม

ฝ่ายสิ่งแวดล้อม

1.7 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน

17 เมษายน พ.ศ. 2550 ถึง 3 สิงหาคม พ.ศ. 2550 โดยการปฏิบัติงานตั้งแต่วันจันทร์ – วันเสาร์ เวลาทำงาน 8.00 – 17.00 น

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

จากการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาทำให้เกิดความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ดังนี้

- 1) เข้าถึงขั้นตอนกระบวนการผลิตกรดมะนาว
- 2) เข้าใจและมีความรู้เกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย
- 3) เข้าใจถึงการปฏิบัติงานของแต่ละฝ่าย
- 4) สถานประกอบการนำโครงการที่ได้ศึกษาไปประยุกต์ใช้ได้จริง
- 5) ฝึกความมีระเบียบวินัย รอบคอบความรับผิดชอบต่องานที่ได้รับมอบหมาย
- 6) สามารถนำความรู้ที่ได้ระหว่างสหกิจศึกษามาประยุกต์ใช้ได้กับการทำงานจริง
- 7) มีมนุษยสัมพันธ์และมีมิตรภาพที่ดีต่อผู้ร่วมงาน

บทที่ 2

งานประจำที่ได้รับมอบหมาย

จากการที่ได้ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด ข้าพเจ้าได้รับมอบหมายจากพนักงานที่ปรึกษา (Job supervisor) ให้มีหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิศวกรสิ่งแวดล้อมและปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย และผลิตก๊าซชีวภาพ
- 2) ศึกษากลไกการซื้อขายคาร์บอนเครดิต

2.1 ศึกษาดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย และผลิตก๊าซชีวภาพ

2.1.1 ความเป็นมา

จากการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ได้รับมอบหมายให้ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสีย UASB ที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตในขั้นตอนการตกเกลือ โดยบริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด เป็นอุตสาหกรรมกรดซีตริก (กรดมะนาว) ดำเนินธุรกิจการผลิตกรดซีตริกจากหัวมันสำปะหลัง โดยมีกำลังการผลิตในปัจจุบัน 3,600 ตัน/ปี มีการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงของหม้อต้มไอน้ำในขบวนการผลิตประมาณ 19.8 ล้านบาท/ปี และมีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตประมาณ 90,000 ลบ.ม./ปี ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียนี้ประกอบด้วยระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ (UASB) ขนาดประมาณ 1500 m² และบ่อ EQ, ระบบกำจัดไนโตรเจน (DN/CN) บ่อเก็บน้ำ และบ่อเก็บตะกอนใช้ พท. ประมาณ 5,500 m² โดยหากนำน้ำเสียทั้งหมดจากขบวนการผลิตมาบำบัดโดยระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) และตามด้วยระบบกำจัดไนโตรเจน จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 3.538 ล้านบาท/ปี และยังได้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องปั่นไฟฟ้าที่มูลค่าถึง 6.683 ล้านบาท/ปี

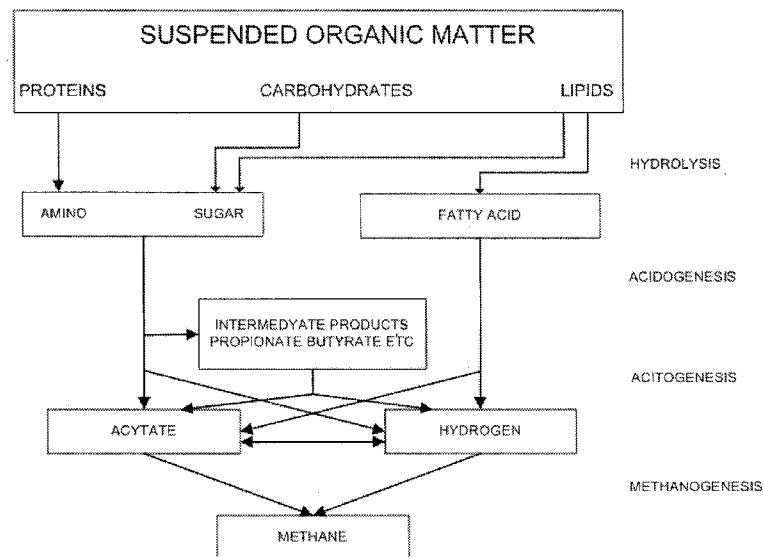
2.1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาความรู้ทางด้านทฤษฎีของระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ
- 2) เพื่อให้สามารถควบคุมการบำบัดน้ำเสียระบบ UASB ได้
- 3) เพื่อสามารถช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียได้

2.1.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

➤ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB

ระบบบำบัดน้ำเสีย UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) เป็นการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Treatment) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเรียกว่าการสร้างกรด (Acidification) แบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) กลุ่ม Acid forming Bacteria จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (ซึ่งวัดได้ในรูปของค่า COD) ให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids, VFA) เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก เป็นต้น ขั้นตอนแรกนี้ค่า COD ยังไม่ลดลง ขั้นตอนที่สองเรียกว่าการสร้างมีเทน แบคทีเรียกลุ่ม Methane-forming Bacteria จะย่อยกรดไขมันระเหยง่ายให้เป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก กรณีที่ในน้ำเสียมีซัลเฟตก็อาจเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วย โดยทั่วไปแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มนี้จะอยู่รวมกัน ในกรณีของระบบ UASB นี้เราจะสร้างกลุ่มตะกอนหรือเม็ดตะกอน (Granule) ซึ่งช่วยให้แบคทีเรียชนิดต่างๆ อยู่รวมกันอย่างใกล้ชิด ทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงมาก ซึ่งกระบวนการย่อยสลายมลสารในระบบ UASB แสดงตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการย่อยสลายมลสารในระบบ UASB

➤ หน่วยบำบัดหลักของระบบบำบัดน้ำเสีย

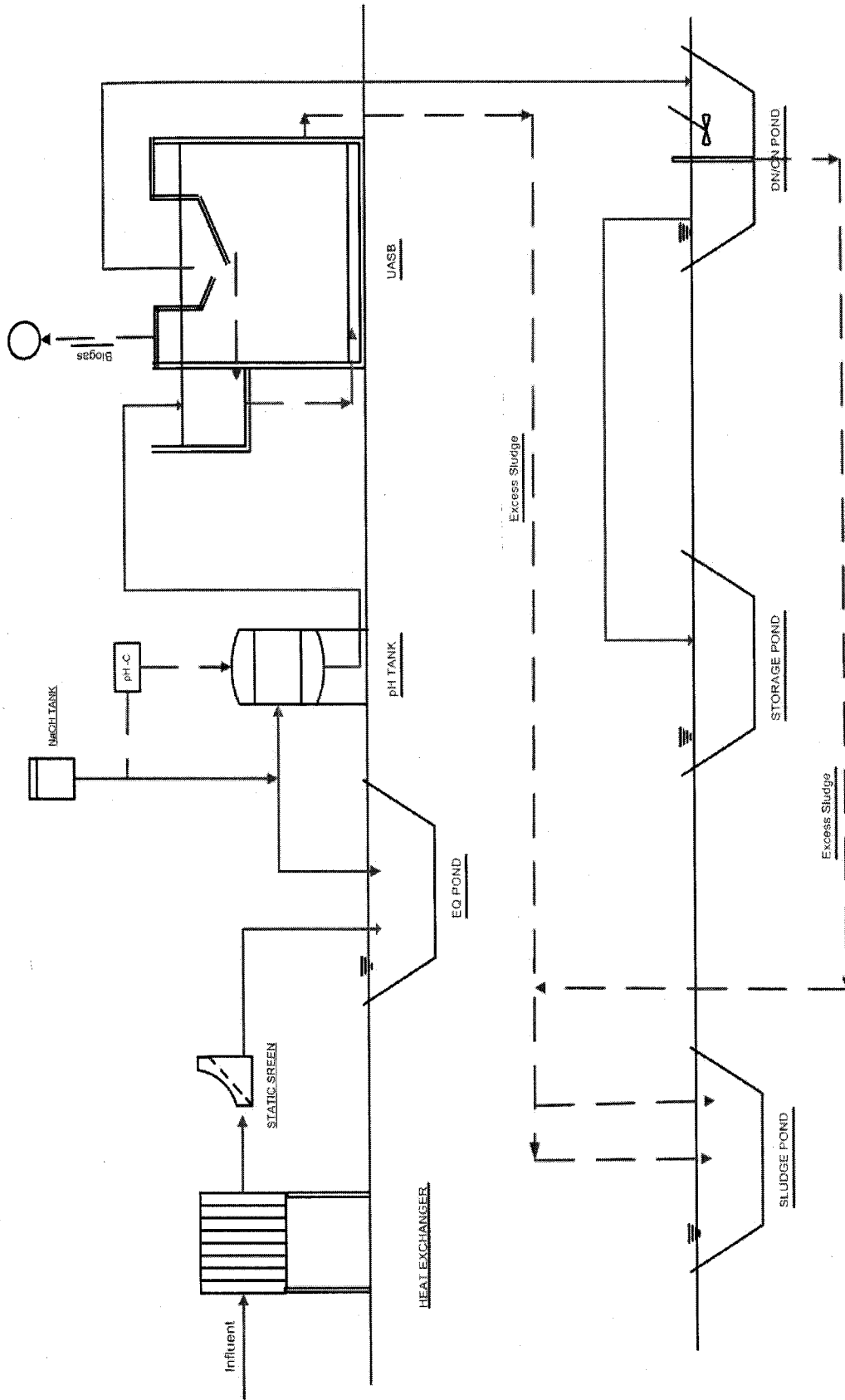
ระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ จะรองรับน้ำเสียจากขบวนการผลิตทั้งหมด 600 m³/d ซึ่งใช้ระบบ UASB และระบบกำจัดไนโตรเจน (DN/CN) เพื่อบำบัดน้ำที่ออกจากระบบผลิต

ก๊าซชีวภาพให้ได้ตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรมก่อนปล่อยลงคลองสาธารณะ จากการ
ศึกษาลักษณะสมบัติน้ำเสียแสดงไว้ในภาคผนวก ค.1

จากปริมาณ และลักษณะสมบัติของน้ำเสีย รวมทั้งพื้นที่ที่มีอยู่สามารถเลือกหน่วยบำบัด
ที่มีความเหมาะสมได้ ดังนี้

- 1) ตะแกรงละเอียด (Static screen) สำหรับแยกขยะและของแข็งออกจากน้ำเสียก่อนลง
บ่อปรับสภาพเพื่อป้องกันไม่ให้ระบบท่อและเครื่องสูบลื่นไหล
- 2) บ่อปรับสภาพ (Equalization pond) เพื่อปรับลักษณะสมบัติของน้ำเสียให้มีค่าคงที่
สม่ำเสมอและรับน้ำส่วนเกินไว้จ่ายให้ระบบบำบัดตลอด 24 ชั่วโมง
- 3) ระบบปรับพีเอช ทำหน้าที่ปรับค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ของน้ำเสียด้วยการเติม
โซดาไฟเพื่อให้ค่าพีเอชเหมาะสมต่อการทำงานของระบบ UASB
- 4) ระบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) เป็นระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มี
ประสิทธิภาพสูงสุดสามารถผลิตก๊าซได้ 400-500 ลิตร/กก. COD ที่ถูกกำจัด รวมทั้ง
ลดค่า BOD และ COD ได้ 85-90% นอกจากนี้ยังเกิดตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินน้อย
เพียง 5-10% ของค่า COD ที่ถูกกำจัด
- 5) ระบบกำจัดไนโตรเจน DN/CN (Denitrification / Completed Nitrification) ใช้บำบัด
น้ำเสียที่ผ่านการผลิตก๊าซชีวภาพแล้วให้ได้มาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม โดย TKN
จะถูกเปลี่ยนเป็น NO_3 (Nitrification) และระบบจะนำ NO_3 มาใช้เป็นแหล่งออกซิเจน
ในการกำจัด COD แทนการเติมอากาศจากเครื่องเติมอากาศแบบ AS (Activated
Sludge) นอกจากนี้ยังเดินระบบแบบ SBR (Sequencing Batch Reactor) ที่ไม่ต้อง
มีถังตกตะกอน ช่วยลดพื้นที่และภาระในการหมุนเวียนตะกอน
- 6) บ่อเก็บตะกอน เมื่อแบคทีเรียย่อย COD ให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพก็จะมีภาระเจริญเติบโตขึ้น
ต้องระบายออกจากถัง UASB และบ่อ DN/CN เก็บไว้ในบ่อเพื่อขูดลอกไปทำ
ปุ๋ยได้ในภายหลัง
- 7) ระบบส่งและใช้งานก๊าซชีวภาพ ได้แก่
 - GAS POND เป็นบ่อเก็บก๊าซเพื่อรักษาความดันและปริมาณก๊าซที่จะนำไปใช้
ให้มี ค่าคงที่รวมทั้งเก็บก๊าซไว้ใช้ในกรณีที่ต้องหยุดเครื่องจักรชั่วคราว
 - BLOWER เพิ่มแรงดันและส่งก๊าซชีวภาพไปยัง BIOGAS ENGINE
 - BIOGAS ENGINE เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับใช้กับก๊าซชีวภาพ
 - FLAEE สำหรับเผาก๊าซชีวภาพส่วนที่เหลือใช้

ซึ่งระบบบำบัดแสดงไว้ในผังขบวนการบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพดังรูปที่ 2.2 ดังนี้



รูปที่ 2.2 ผังขบวนการบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ

2.1.4 ลักษณะการปฏิบัติงาน

การปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ได้ศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ โดยศึกษาจากทฤษฎีและไปการปฏิบัติหน้างานจริงให้มีความเข้าใจยิ่งขึ้น

1) ทุระบบทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย และผลิตก๊าซชีวภาพ

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตทั้งหมดจะถูกคูดไปรวมกันไว้ในถังรองรับน้ำเสีย ขนาด 9 ลบ.ม. จำนวน 2 ใบ ซึ่งใช้สลับกัน โดยเมื่อน้ำเสียเต็มถึงพนักงานจะถ่ายน้ำเสียทิ้งลงรางซึ่งไหลต่อไปยังบ่อบำบัดน้ำเสียทิ้งลงรางซึ่งไหลต่อไปยังบ่อบำบัดน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป โดยแสดงภาพถ่ายไว้ในภาคผนวก ก.2

ลักษณะการทำงานคือ สูบน้ำเข้าด้านล่างของถังและดันออกด้านบน ภายในถังจะเพาะเลี้ยงกลุ่มตะกอนแบคทีเรียขึ้น ตะกอนที่รวมตัวกันเป็นเม็ดจะมีความถ่วงจำเพาะสูง จึงอยู่ก้นถังในบริเวณที่เรียกว่า ชั้นตะกอนล่าง (Sludge Bed) โดยอาจมีค่าของแข็งแขวนลอย (SS) สูงในช่วง 20,000 – 60,000 mg/l การมีสภาพเป็นตะกอนหรือไม่เป็นเม็ด ขึ้นกับชนิดของน้ำเสียและปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆ ประกอบกัน น้ำเสียจะไหลเข้าทางก้นถังเมื่อผ่านชั้นตะกอนเหล่านี้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่จับตัวกันเป็นตะกอน จากนั้นน้ำเสียจะไหลผ่านชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket) ซึ่งอยู่สูงขึ้นไปจากก้นถัง ในชั้นตะกอนลอยนี้มีค่าของแข็งแขวนลอยที่ต่ำลงอาจอยู่ในช่วง 5,000 - 20,000 mg/l ชั้นตะกอนลอยนี้โดยปกติจะไม่หลุดออกไปจากถัง แต่ในบางสถานการณ์ก็อาจหลุดออกไปกับน้ำทิ้งได้

เมื่อน้ำไหลขึ้นผ่านชั้นตะกอนเหล่านี้ สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายเกิดเป็นก๊าซชีวภาพลอยขึ้นมาในทิศทางเดียวกัน โดยก๊าซจะพาของแข็งแขวนลอยหรือตะกอนแบคทีเรียบางส่วนขึ้นไปด้วย จึงต้องมีโครงสร้างที่จะแยกก๊าซของแข็งแขวนลอยและน้ำออกจากกัน โครงสร้างนี้เรียกว่า Gas-Solid Separator (GSS) ซึ่งจะแยกก๊าซ (ลอยขึ้นในแนวตั้ง) ออกจากน้ำ ขณะเดียวกันด้านบนของถังจะเป็นช่วงตกตะกอน มีสภาวะน้ำนิ่งเพื่อให้ตะกอนจมตัวลงกลับลงไปในถัง UASB อีก ระบบ UASB โดยปกติจะมีน้ำทิ้งที่มีค่าของแข็งแขวนลอยโดยเก็บตัวอย่างที่ระดับต่างๆ จากก้นถัง ถ้ามีค่าสูงมากก็ต้องระบายทิ้ง เพื่อนำไปกำจัดต่อไปเป็นครั้งคราว

สำหรับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ก็เป็นข้อบ่งชี้ที่ดีว่าระบบทำงานปกติหรือไม่ ถ้าปริมาณก๊าซลดลงอย่างเป็นที่สังเกตได้ (จากการอ่านที่มิเตอร์ก๊าซ) ขณะที่ปริมาณน้ำเสียเข้าคงเดิมก็แสดงว่าอาจเกิดปัญหาในระบบ

ระบบนี้จะต้องควบคุมไม่ให้ pH ในถังต่ำกว่า 6.5 มิฉะนั้นการลด COD อาจเกิดเพียงเล็กน้อยเพราะปฏิกิริยาจะเป็นเพียงการสร้างกรด (Acidification) หรือการเปลี่ยนสารอินทรีย์ (ค่า COD) เป็นกรดไขมันระเหยง่ายเท่านั้น

2) วิเคราะห์ค่าลักษณะสมบัติน้ำเสียของบริษัท

เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียของทางโรงงานเริ่มมีการเดินระบบเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 จึงต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพและการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียประจำวัน เพื่อให้ทราบถึงสถานะของระบบบำบัดน้ำเสียว่าสามารถบำบัดน้ำทิ้งได้ตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมหรือไม่ ซึ่งต้องเก็บตัวอย่างน้ำเสียไปวิเคราะห์และคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่า COD, pH, Alk, SS และ SV_{30} ที่จำเป็นต่อการเดินระบบ โดยแสดงพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ไว้ในภาคผนวก ค.2

3) จัดทำแฟ้มภาพประวัติโครงการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ

รวบรวมรูปภาพที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างโครงการบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพไว้เป็นรูปเล่มเพื่อใช้ในการตรวจสอบลำดับเหตุการณ์โครงการก่อสร้างและสะดวกแก่การนำไปใช้งานต่อสถานประกอบการยิ่งขึ้น

2.1.5 ผลการปฏิบัติการ

จากการศึกษางานที่ได้รับมอบหมายนี้ตั้งแต่เริ่มสหกิจศึกษาคือวันที่ 17 เมษายน – 3 สิงหาคม 2550 ซึ่งได้มีการปฏิบัติงานกับสถานประกอบการดังนี้

- 1) เข้าใจระบบการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย การทำงานของระบบจะไม่ซับซ้อนมากมาย แต่การควบคุมระบบต่างๆ ต้องมีความชำนาญกับเครื่องมือและการทำงานของระบบ
- 2) สามารถวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่มีความจำเป็นต่อระบบ UASB ได้ โดยค่าที่วิเคราะห์ได้นี้ จะสามารถบอกประสิทธิภาพการทำงานของระบบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีหรือไม่ดี
- 3) รู้ถึงลักษณะปัญหาและวิธีการแก้ไขที่เกิดขึ้นกับระบบ ซึ่งระบบนี้ใช้ตะกอนเม็ดย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย การดูแลตะกอนถือว่าเป็นเรื่องสำคัญ แต่การเกิดปัญหาของระบบ UASB นี้ค่อนข้างมีอยู่เรื่อยๆ ไม่ว่าจะเป็นบ่อปรับสภาพน้ำ, ตะกอนหลุด

ออกมาค้ำน้ำเสีย ซึ่งทางสถานประกอบการยังอยู่ในขั้นเริ่มเดินระบบ การแก้ไขปัญหา จึงต้องแจ้งไปยังหน่วยงานที่รับผิดชอบและมีความเชี่ยวชาญในโครงการนี้ให้ดำเนินการแก้ไข

- 4) เห็นข้อดีและขีดความสามารถของระบบบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่

ข้อดี คือ

- ใช้พลังงานต่ำ
- ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างน้อย
- เกิดตะกอนส่วนเกิน (1 ใน 10 ของระบบ aerobic)
- ได้ก๊าซชีวภาพซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ได้
- สามารถรับ Load ที่ไม่คงที่หรือไม่ต่อเนื่องได้
- ต้องการสารอาหารเสริมต่ำ
- ตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้นสามารถรีดเอาน้ำออกได้ง่าย
- ไม่เกิดกลิ่นเหม็นและเสียงดังรบกวน

ขีดความสามารถของระบบ UASB คือ

- pH 6.0-8.0 อุณหภูมิ 15-40 °C
- ประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงถึง 70-90 %
- ภาระบรทุกอินทรีย์สาร 6-20 kg COD / cu.m.-d
- ระยะเวลาการเก็บกัก 6-48 ชั่วโมง
- ค่า COD เข้าระบบ 200 - 100,000 มก./ลิตร
- อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.2-0.5 ลบ.ม./ กก. COD ที่ถูกกำจัด
- ระบบสามารถทำงานได้ดีแม้มีการเปลี่ยนแปลงค่า pH หรือ อุณหภูมิเป็นครั้งคราว

2.2 ศึกษากลไกการซื้อขายคาร์บอนเครดิต

2.2.1 ความเป็นมา

เนื่องจากบริษัทไทยซีตริก แอซิด จำกัด มีความสนใจในเรื่องของการซื้อขายคาร์บอนเครดิต เพราะทางบริษัทมีกระบวนการบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ พลังงานที่ได้จากระบบบำบัดจะถูกหมุนเวียนนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในโรงงานส่วนหนึ่ง ซึ่งถือว่าเข้าข่ายเป็นโครงการ CDM ขนาดเล็ก จึงได้รับมอบหมายให้ทำการศึกษาวิธีการกักเก็บและทำลายก๊าซมีเทนเพื่อ

ช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และขั้นตอนการดำเนินการจัดทำโครงการ CDM ของโรงงานในอนาคต

2.2.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาข้อมูลกลไกการซื้อขายคาร์บอนเครดิตและการยื่นอนุมัติโครงการเบื้องต้น
- 2) เพื่อเสนอเป็นแนวทางขั้นตอนการซื้อขายคาร์บอนเครดิตการแก่สถานประกอบ

2.2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

➤ ความเป็นมาของกลไกการพัฒนาที่สะอาด

พิธีสารเกียวโตได้จำกัดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศอุตสาหกรรม หรือที่เรียกว่า ประเทศในกลุ่มภาคผนวกที่ 1 (Annex I Countries) ให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปีพ.ศ. 2533 ประมาณร้อยละ 5 โดยจะต้องดำเนินการให้ได้ภายในช่วงปี พ.ศ. 2550-2555 (ค.ศ. 2008-2012)

ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศกำลังพัฒนา หรือกลุ่มนอกภาคผนวกที่ 1 (non-Annex I Countries) ไม่ได้ถูกจำกัดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้พิธีสารเกียวโตภายในระยะเวลาและปริมาณที่กำหนดไว้ แต่สามารถร่วมดำเนินโครงการในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้โดยสมัครใจตามแต่ศักยภาพของประเทศ

โครงการที่เกิดขึ้นในประเทศกำลังพัฒนา และสามารถพิสูจน์ได้ว่าลดก๊าซเรือนกระจกได้จริง จะได้รับเครดิตที่เรียกว่า Certified Emission Reductions (CERs) จากการดำเนินงานตามกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism: CDM) คาร์บอนเครดิต หรือ CERs นี้ สามารถนำไปหักลบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศกลุ่มภาคผนวกที่ 1 ได้ ประเทศเหล่านี้จึงมีความต้องการซื้อ CERs เพื่อให้ประเทศของตนสามารถบรรลุพันธกรณีในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ และประเทศกำลังพัฒนายังสามารถบรรลุถึงเป้าหมายของการพัฒนาอย่างยั่งยืนได้อีกด้วย

กลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism, CDM) เป็นหนึ่งในสามกลไกภายใต้พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol, KP) ซึ่งเป็นข้อผูกพันทางกฎหมายระดับนานาชาติซึ่งมีผลบังคับใช้อย่างเป็นทางการ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มนุษย์ผลิตขึ้น โดยพิธีสารเกียวโตได้กำหนดกลไกยึดหยุ่นขึ้น 3 กลไกคือ

1. กลไกการทำโครงการร่วม (Joint Implementation: JI)
2. กลไกการซื้อขายสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Trading: ET)

3. กลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism: CDM)

➤ หลักการของโครงการ CDM

1) ปริมาณการปล่อยก๊าซที่ลดได้จากโครงการ CDM นี้จะต้องได้รับการรับรอง (Certify) โดยหน่วยปฏิบัติการ (UNFCCC CDM-Executive Board, Designated Operational Entity: DOE และ Designated National Authority: DNA) ซึ่งแต่งตั้งโดย COP/MOP

2) จะต้องเป็นการเข้าร่วมดำเนินการด้วยความสมัครใจ (Voluntary participation) โดยได้รับความเห็นชอบจากภาคีที่เกี่ยวข้อง รวมถึงความเห็นชอบของประเทศที่ตั้งโครงการ

3) จะต้องก่อให้เกิดประโยชน์ที่แท้จริง ตรวจสอบได้ และเป็นประโยชน์ในระยะยาวที่จะบรรเทาภัยเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และจะต้องเป็นปริมาณที่ลดที่ได้เพิ่มเติม (Additionality)

4) จากปริมาณการปล่อยก๊าซปกติในกรณีที่ไม่มีการดำเนินโครงการ CDM ที่ได้รับการรับรอง

5) จะต้องเป็นโครงการที่มีการดำเนินการเพิ่มเติมจากรูทีปกติ (business as usual) ในด้านต่างๆ เช่น ด้านการเงิน (financial) การลงทุน (investment) เทคโนโลยี (technology) และสิ่งแวดล้อม (environment)

6) จะต้องสอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศกำลังพัฒนาซึ่งเป็นประเทศภาคีที่ตั้งโครงการ

7) กระบวนการต่าง ๆ จะต้องมีความโปร่งใส (Transparency) มีประสิทธิภาพ (Efficiency) และมีความรับผิดชอบ (Accountability) โดยผ่านการตรวจสอบ (auditing) และการตรวจพิสูจน์ (verification) อย่างมีอิสระ

➤ ประเภทของโครงการ CDM

ประเภทของโครงการ CDM แบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้ คือ

- โครงการ CDM ทั่วไป
- โครงการ CDM ด้านป่าไม้
- โครงการ CDM ขนาดเล็ก

ซึ่งโครงการบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพของทางโรงงานเข้าข่ายเป็นโครงการ CDM ขนาดเล็กที่สามารถกักเก็บก๊าซมีเทนและนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า

➤ การดำเนินโครงการ CDM

ในการดำเนินโครงการ CDM สามารถแบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะเตรียมการเพื่อขอขึ้นทะเบียนเป็นโครงการ CDM และระยะดำเนินโครงการ โดยทั้งสองระยะนี้สามารถแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ได้แก่

1. ออกแบบโครงการ (Project Design) ผู้ดำเนินโครงการจะต้องออกแบบลักษณะของโครงการ และจัดทำเอกสารประกอบโครงการ (Project Design Document: PDD) โดยมีการกำหนดขอบเขตของโครงการ วิธีการคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจก วิธีการในการติดตามผลการลดก๊าซ การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น
2. การตรวจสอบเอกสารประกอบโครงการ (Validation) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ
3. ผู้ดำเนินโครงการจะต้องจ้างหน่วยงานกลางที่ได้รับมอบหมายในการปฏิบัติหน้าที่แทนคณะกรรมการบริหารฯ (CDM Executive Board: CDM EB) หรือที่เรียกว่า Designated Operational Entity (DOE) ในการตรวจสอบเอกสารประกอบโครงการว่าเป็นไปตามข้อกำหนดต่างๆ หรือไม่
4. ผู้ดำเนินโครงการจะต้องได้รับหนังสือเห็นชอบในการดำเนินโครงการจากประเทศเจ้าบ้าน โดยหน่วยงาน Designated National Authority (DNA) ซึ่งเป็นการยืนยันว่าโครงการที่เสนอนั้น เป็นโครงการที่ดำเนินการโดยสมัครใจ และโครงการมีส่วนช่วยในการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศเจ้าบ้านที่โครงการนั้นตั้งอยู่
5. ขึ้นทะเบียนโครงการ (Registration) เมื่อ DOE จัดส่งรายงานไปยังคณะกรรมการบริหารฯ เพื่อขอขึ้นทะเบียนโครงการที่ผ่านข้อกำหนดต่างๆ ครบถ้วน
6. ติดตามการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Monitoring) เมื่อโครงการได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นโครงการ CDM แล้ว ผู้ดำเนินโครงการจึงดำเนินการตามที่เสนอไว้ และทำการติดตามการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
7. การยืนยันการลดก๊าซเรือนกระจก (Verification) ผู้ดำเนินโครงการจะต้องจ้างหน่วยงาน DOE ให้ทำการตรวจสอบและยืนยันการติดตามการลดก๊าซเรือนกระจก
8. การรับรองการลดก๊าซเรือนกระจก (Certification) เมื่อหน่วยงาน DOE ได้ทำการตรวจสอบการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแล้ว จะทำรายงานรับรองต่อคณะกรรมการบริหารฯ เพื่อขออนุมัติให้ออก CERs ให้ผู้ดำเนินโครงการ
9. ออกคาร์บอนเครดิต (Issuance) เมื่อคณะกรรมการบริหารฯ ได้รับรายงานรับรองการลดก๊าซเรือนกระจก จะได้พิจารณาออก CERs ให้ต่อไป

2.2.4 ลักษณะการปฏิบัติงาน

1) ติดต่อหน่วยงานที่ให้ข้อมูลทางด้านการศึกษาซื้อขายคาร์บอนเครดิต ซึ่งได้แก่ สำนักงานแผนและนโยบายสิ่งแวดล้อม (สผ.) โดยหน่วยงานนี้ได้ให้ข้อมูลและแนะนำการทำโครงการ CDM ขนาดเล็ก ซึ่งต้องดำเนินการเตรียมเอกสารที่จำเป็นในการยื่นขออนุมัติโครงการก่อนในขั้นต้น ซึ่งเอกสารสำหรับยื่นขออนุมัติโครงการ มีดังนี้ แบบฟอร์ม, ความเห็นชอบจากกระทรวงที่เกี่ยวข้อง, Project Design Document (PDD) ,คุณสมบัติของผู้พัฒนาโครงการ ,การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานตามปกติ, กำหนดระยะเวลาในการแลกเปลี่ยน CERs, รายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น Initial Environmental Evaluation: IEE, ค่าธรรมเนียมในการวิเคราะห์โครงการ เป็นต้น

2) เมื่อหน่วยงาน สผ. ให้คำแนะนำในการขอยื่นเอกสารในส่วนของการจัดทำรายงานการออกแบบโครงการ ดังนั้นจึงทำการศึกษาระดับขั้นตอนการออกแบบโครงการ (Project Design) โดยได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง คือหากต้องการทำโครงการ CDM ขนาดเล็ก ผู้ดำเนินโครงการต้องออกแบบโครงการ และจัดทำเป็นเอกสารฉบับภาษาอังกฤษยื่นเสนอต่อ CDM Executive Board ในเอกสารต้องประกอบไปด้วย การกำหนดขอบเขตของโครงการ วิธีการคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจก วิธีการติดตามผลการลดก๊าซ การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

2.2.5 ผลการปฏิบัติงาน

จากการศึกษาหลักการซื้อขายคาร์บอนเครดิตมีผลการปฏิบัติงานดังนี้

1) เมื่อนำมาศึกษากับโครงการระบบบำบัดน้ำเสียของทางโรงงานนั้น สามารถจัดทำเป็นโครงการ CDM ขนาดเล็กได้เพราะสามารถกักเก็บก๊าซมีเทนและนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้

2) ข้อมูลที่ได้ทำการศึกษา เสนอต่อสถานประกอบให้พิจารณาขั้นตอนการขออนุมัติโครงการ และเป็นแนวทางในการทำโครงการ CDM ในอนาคต

3) ได้ทราบว่าในการทำโครงการ CDM แต่ละประเภทต้องจัดทำเอกสารประกอบโครงการ (Project Design Document) ที่แตกต่างกัน และต้องยื่นส่งไปที่ EB ประเทศเยอรมัน

4) การทำโครงการ CDM นั้น หากโรงงานไม่จำเป็นต้องทำ EIA ต้องจัดทำ IEE แนบไปพร้อมกับเอกสารประกอบโครงการ

5) ทราบข้อมูลว่าในประเทศไทยต่างมีโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทมีความสนใจและติดต่อทำโครงการ CDM เพื่อซื้อขายคาร์บอนเครดิต ในปัจจุบันมีโครงการที่พิจารณาไปแล้ว 8 โครงการ แต่ยังมีกว่า 40 โครงการที่ยังรอการพิจารณาอยู่ และมีอีกกว่า 80 โครงการใหม่ที่กำลังยื่นขออนุมัติโครงการ หากบริษัทจะเข้าร่วมโครงการต้องใช้เวลาในการดำเนินการระยะยาวมาก

บทที่ 3

โครงการนำของเสีย(ยิปซัม)จากกระบวนการผลิตไปเป็นปูนปลาสเตอร์

3.1 ความเป็นมา

เนื่องจากบริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด เป็นอุตสาหกรรมกรดซีตริก (กรดมะนาว) ดำเนินธุรกิจการผลิตกรดซีตริกจากหัวมันสำปะหลัง เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นต้น ทั้งนี้จากการศึกษาจึงพบว่าลักษณะปัญหาสิ่งแวดล้อมของสถานประกอบการที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตซึ่งได้แก่ ปัญหาด้านน้ำเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนกระบวนการตกเกลือ และปัญหาด้านกากของเสีย ได้แก่ กากมันและยิปซัม โดยบางส่วนทางโรงงานได้มีการจัดการปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างเหมาะสมแล้ว แต่ทั้งนี้ของเสียที่เป็นยิปซัมที่เกิดขึ้นวันละ 13 ตัน/วัน ยังไม่มีการแก้ไขที่ดี จึงได้ทำการศึกษาโครงการและวิเคราะห์หาทางนำเอายิปซัมที่เป็นกากของเสียจากกระบวนการผลิตไปใช้ประโยชน์ โดยผลิตเป็นปูนปลาสเตอร์ควบคู่กับการนำเอาเทคโนโลยีสะอาดมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการจัดการสิ่งแวดล้อมภายในโรงงานให้มีประสิทธิภาพดีที่สุด

ในปัจจุบันสามารถทำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดไปใช้เป็นการพัฒนาขีดความสามารถด้านการผลิต ก่อให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และให้ประโยชน์อย่างมากมาย จากโครงการศึกษาการนำกากของเสียยิปซัมที่เกิดจากกระบวนการผลิตไปเป็นปูนปลาสเตอร์ถือว่าการลดปริมาณของเสียโดยการนำกลับมาใช้ใหม่ และยังทำให้เกิดผลพลอยได้ต่อบริษัทช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับของเสีย

3.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำเทคโนโลยีสะอาดมาใช้ประโยชน์ ในการลดกากของเสียยิปซัมจากกระบวนการผลิตไปเป็นผลิตภัณฑ์
2. เพื่อศึกษาและทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของการนำยิปซัมไปเป็นผลิตปูนปลาสเตอร์
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของการนำยิปซัมไปผลิตเป็นปูนปลาสเตอร์

3.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.3.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแรยิปซัม

ยิปซัมเป็นแร่ที่พบในหลายๆส่วนทั่วโลก ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่มีแหล่งแรยิปซัมที่มีคุณภาพสูงอยู่เป็นจำนวนมาก แรยิปซัมประกอบด้วย Calcium sulphate dehydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เป็นส่วนใหญ่ แรยิปซัมสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้อย่างมากมาย อาทิเช่น การผลิตปูนปลาสเตอร์ ฉนวนกันความร้อน และวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์

1) คุณลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีภาพ

ปูนปลาสเตอร์ทำมาจากแรยิปซัม ซึ่งมีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต ในโครงสร้างผลึกจะมีน้ำ 2 หน่วยต่อแคลเซียมซัลเฟต 1 หน่วย เมื่อนำยิปซัมมาเผาแคลไซน์ น้ำบางส่วนจะระเหยออกไปกลายเป็นปูนปลาสเตอร์ ซึ่งมีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต ในโครงสร้างผลึกจะมีน้ำเพียง 1 หน่วยต่อแคลเซียมซัลเฟต 2 หน่วย ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังนั้นเมื่อเติมน้ำให้กับปูนปลาสเตอร์ ปูนปลาสเตอร์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นผลึกรูปเข็มของยิปซัมและกลายเป็นก้อนแข็งอีกครั้ง กระบวนการดังกล่าวนี้จะกินเวลาประมาณ 20-30 นาที ซึ่งยาวนานพอที่ปูนเหลวจะไหลตัวเต็มตัวในแบบพิมพ์ได้อย่างอิสระ ปูนปลาสเตอร์จึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมมาก กับการหล่อแบบให้เป็นรูปร่างต่างๆ ได้ตามต้องการ ปูนปลาสเตอร์ที่เริ่มแข็งตัวใหม่ๆ จะค่อนข้างร้อน เนื่องจากปฏิกิริยาการคลายความร้อน

Calcium Sulphate hemihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) เป็น phase ที่เกิดขึ้น เมื่อ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ได้รับความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 80 - 180 °C ซึ่ง form ของ hemihydrate มีด้วยกัน 2 รูป คือ α - $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ และ β - $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการ calcine

- α - $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ เกิดจากการจับตัวกันอย่างแน่นหนาของผลึกเป็นรูปเข็มชัดเจน และมีความหนาแน่นสูงกว่า β - $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ มีสีขาว สีฟ้า ราคาแพง
- β - $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ เกิดจากการรวมตัวของผลึกที่มีความละเอียดมากขึ้น ซึ่งจะจับตัวกันหลวมๆ เป็นก้อนหนาๆ คล้ายฟองน้ำมีรูพรุน และมีลักษณะเป็นรอยแยก (fissure) มีความหนาแน่นน้อย สีขาว ราคาถูก

ASTM C471-76 (Chemical Analysis of Gypsum and Gypsum products) วิเคราะห์คุณสมบัติของแรยิปซัมไว้ว่า แรยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) มีน้ำหนักโมเลกุล 172.1 กรัม เมื่อเป็น $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ จะมีน้ำหนักโมเลกุล 145.1 กรัม น้ำหนักซึ่งหายไป 27 กรัมหรือเท่ากับร้อยละ

15.6 เหลื่อน้ำผลึก $1/2\text{H}_2\text{O}$ โมเลกุลเท่ากับ 9.0 กรัม คิดเป็นร้อยละ 6.2 ซึ่งแสดงให้เห็นดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติมาตรฐานยิปซัมธรรมชาติ

Alternate name	Dried Calcium Sulphate, Dried Gypsum, Calcium Sulphate hemihydrate
Molecular formula	$\text{CaSO}_4 \cdot 0.5 \text{H}_2\text{O}$
Appearance	Fine, odourless, tasteless powder.
Grades	Alpha and Beta
Composition	Lime (CaO) 38.6 Sulphur trioxide (SO_3) 55.2 Combined water (H_2O) 6.2
Molecular weight	145.15
Melting point, deg.C	163
Solubility in 100g water at 25 deg.C, g	0.30
Residue on 120 mesh	1.0% max
Hemihydrate content	More than 97%
Plaster : Water ratio (100g /g)	100 :40 to 100 : 50
Blending time	About 2 minutes
Water consistency	33 to 38 water per 100 gm product

ที่มา : Annual Book of ASTM Standard Volume 04.01 C471 (1996)

2) ประโยชน์ของปูนปลาสเตอร์

ประโยชน์ของปูนปลาสเตอร์ที่สำคัญคือ ใช้ในการหล่อแบบเป็นชิ้นงาน เช่น หน้ากาก ตุ๊กตาและสิ่งของประดับบ้าน ทำเฟือกสำหรับคนไข้ที่ประสบอุบัติเหตุ กระดูกแขนหรือขาหัก ใช้พิมพ์รอยมือหรือเท้าสำหรับศึกษาและงานสืบสวน รวมถึงทำแบบพิมพ์สำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก การใช้ปูนปลาสเตอร์ทำแบบ สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกมีข้อดีหลายประการ เนื่องจากปูนปลาสเตอร์มีความแข็งแรงและผิวหน้าเรียบ สามารถเก็บรายละเอียดต่างๆ ของต้นแบบได้ดี รวมถึงมีรูปทรงมาก จึงสามารถดูต้นแบบออกจากเนื้อดินได้ ทำให้เนื้อดินแห้งเร็วกว่าการใช้วัสดุอื่นทำแบบ นอกจากนี้ยังมีราคาถูกอีกด้วย ข้อควรระวังในการทำแบบปูนปลาสเตอร์คือ จะต้องกำจัดฟองอากาศที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนปลาสเตอร์กับน้ำออกให้หมด มิฉะนั้นจะทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำ

ปูนปลาสเตอร์ที่ผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นปูนปลาสเตอร์ชนิดบีตา (β -gypsum) ส่วนปูนปลาสเตอร์ชนิดแอลฟา (α -gypsum) ซึ่งมีความแข็งแรงกว่าและมีรูปทรงน้อยกว่าชนิดบีตา ซึ่งนิยมนำมาใช้ทำแบบแม่พิมพ์คุณภาพสูงในอุตสาหกรรมเซรามิก

ลักษณะการใช้งานของปูนปลาสเตอร์ในงานศิลป์ งานช่าง แบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

- Industrial Molding Plaster เรียกอีกอย่างว่าปูนชนิดอ่อน (soft plaster) เป็นปูนปลาสเตอร์ที่อ่อนที่สุด ไม่มีส่วนผสมของสารเคลือบแข็งที่ผิวหน้า (surface hardening additives) ใช้ได้ดีในอัตราส่วน ปูน 100 ส่วน/ น้ำ 67-80 ส่วน แข็งตัวในเวลา 20-35 นาที
- Casting Plaster เป็นปูนชนิดที่ใช้กันทั่วไป ผสมง่ายมีความหนาแน่น และความแข็งแรงของเนื้อปูนมากกว่า industrial molding plaster เล็กน้อย ใช้ได้ดีในอัตราส่วน น้ำ 67-80 ส่วน / ปูน 100 ส่วน แข็งตัวในเวลา 25-30 นาที
- Art Plaster มีลักษณะคล้ายกับ Casting plaster แต่ไม่แข็งเท่า

3) ปูนปลาสเตอร์ที่ดีควรมีสมบัติดังนี้

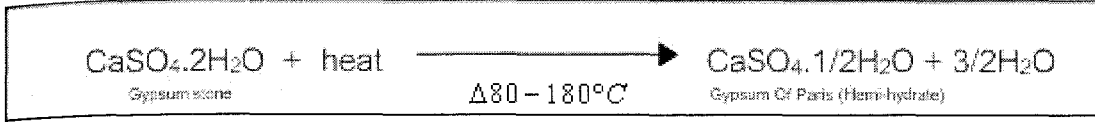
- ต้องการน้ำผสมในการทำแบบน้อย แต่ได้น้ำปลาสเตอร์ที่มีการไหลตัวดี การผสมกันง่าย
- ขณะแข็งตัวมีการขยายตัวน้อย
- มีระยะเวลาในขณะที่เป็นของเหลวที่มีการไหลตัวดีนานพอที่จะทำงานได้โดยไม่ต้องรีบร้อน
- เนื้อปลาสเตอร์มีสมบัติสม่ำเสมอโดยไม่ทำให้แบบที่ผลิตขึ้นในเวลาต่าง ๆ กันมีสมบัติแตกต่างกัน
- มีการสึกหรออย่างสม่ำเสมอและเป็นไปอย่างช้า

4) การผลิตปูนปลาสเตอร์

การผลิตปูนปลาสเตอร์ (Plaster of paris) Offutt, J.S. and Lambb, C.M. (1947)

กล่าวว่า การผลิตปลาสเตอร์จากแร่ยิปซัมบางชนิดจะไม่ได้ผลดีนักถ้าในแร่ยิปซัมมีแอนไฮไดรต์ (anhydrous calcium sulphate, CaSO_4) หรือมีสารเจือปน (impurity) อย่างอื่นปนอยู่ สารเจือปนเหล่านี้ทำให้แม่แบบที่ได้มีผิวขรุขระและลอกหลุดออกมาเป็นชิ้นๆ การผลิตปูนปลาสเตอร์เริ่มด้วยการบดแร่ยิปซัมที่บริสุทธิ์มากๆ ให้ละเอียด (ประมาณ 140 เมช) แล้วให้ความร้อนพอที่จะได้น้ำออกจนกระทั่งได้ปูนปลาสเตอร์ ปูนปลาสเตอร์เป็นสารประกอบแคลเซียมซัลเฟตรูปหนึ่ง ทำ

จากแร่ยิปซัมหรือเกลือจืดซึ่งมีสูตร $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ยิปซัมหรือเกลือจืดจะกลายเป็นพลาสติกได้ โดยทำให้ร้อนตั้งแต่ประมาณ $80-180^\circ\text{C}$ ขึ้นไป น้ำผลึกบางส่วนในยิปซัมหรือเกลือจืดจะระเหยออกไป สารที่ได้กลายเป็น $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ (Plaster Of Paris) หรือปูนปลาสเตอร์นั่นเอง ดังแสดงดังรูปที่ 3.1 นี้



รูปที่ 3.1 รูปแสดงปฏิกิริยาการเกิด Gypsum Plaster

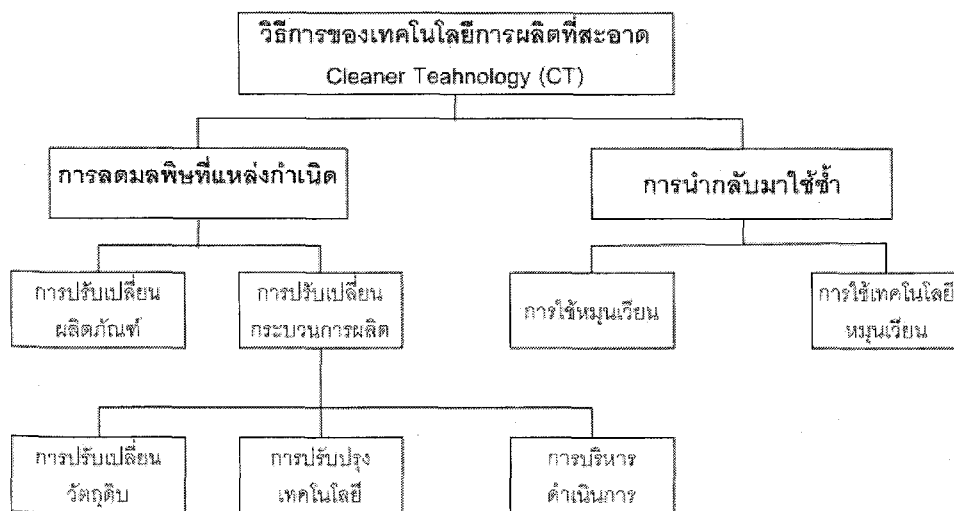
3.3.2 ศึกษาเทคโนโลยีสะอาดในการลดกากของเสีย

3.3.2.1 หลักการเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

เทคโนโลยีสะอาด (Cleaner Technology – CT) หรืออาจเรียกว่า Pollution prevention (P2) หรือ Cleaner production (CP) หรือ Waste minimization เป็นการป้องกันการเกิดของเสียที่แหล่งกำเนิดแทนการบำบัดที่ปลายทาง ดังนั้นเทคโนโลยีสะอาดคือ กลยุทธ์ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ อย่างต่อเนื่อง เพื่อจัดการทรัพยากรต่างๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด หรือเกิดของเสีย (ปัญหามลพิษ) น้อยที่สุด

3.3.2.2 วิธีการของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด มีวิธีการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ วิธีลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด และวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่หรือการรีไซเคิล แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วิธีการดำเนินงานเทคโนโลยีที่สะอาด

1) การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด คือ การปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ให้เกิดของเสียน้อยที่สุด (reduce) และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด มีอายุการใช้งานนานขึ้น และการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต โดยหันไปใช้วัตถุดิบที่มีสารพิษน้อย หรือใช้วัสดุที่รีไซเคิลได้ หรือการหันไปใช้ระบบการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น รวมทั้งการควบคุมดูแลระบบต่างๆ ให้เกิดการสูญเสียให้น้อยที่สุด โดยการกำหนดให้มีขั้นตอนการผลิต วิธีปฏิบัติงาน ตลอดจนขั้นตอนในการบำรุงรักษา และระบบการจัดการที่ชัดเจน

2) การนำกลับมาใช้ใหม่ อาจแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การนำกลับมาไปใช้ซ้ำ (reuse) ได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการปรับเปลี่ยนใดๆ เช่น การนำกลับไปเข้ากระบวนการผลิตใหม่ และการนำของเสียที่เกิดขึ้น ไปผ่านกระบวนการปรับคุณภาพ (recycle) ก่อนที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ โดยปกติควรดำเนินการลดการสูญเสีย ก่อนที่จะวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่หรือนำไปสกัดของมีค่ากลับคืน การหมุนเวียนการใช้ เช่น เมื่อนำทรัพยากรมาผ่านการใช้งานครั้งหนึ่งแล้วยังมีคุณภาพที่จะนำไปใช้งานในขั้นตอนอื่นได้ ก็ควรหาวิธีที่จะนำไปใช้ประโยชน์ หรือถ้าใช้ในกระบวนการอื่นไม่ได้แล้วก็ใช้วิธีการศึกษาเทคโนโลยีเพื่อออกแบบกระบวนการนำทรัพยากรน้ำ วัตถุดิบ หรือพลังงานกลับมาใช้อีก หรือทำให้เกิดผลพลอยได้เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับของเสีย

โรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป สามารถทำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดไปใช้เป็นการพัฒนาขีดความสามารถด้านการผลิต เพื่อให้เกิดการแข่งขัน ในภาคอุตสาหกรรมทั้งภายในประเทศและการค้าของตลาดโลกได้อย่างแน่นอน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ก่อให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และให้ประโยชน์อย่างมากมาย ซึ่งบางกรณีการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดไปปฏิบัติใช้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายในการลงทุน แต่ผลที่ได้กลับสามารถลดต้นทุนการผลิตได้มาก หรือถ้ามีการลงทุน ก็ต้องได้รับผลตอบแทนภายในระยะเวลาคืนทุน (Payback period) ที่คุ้มค่าต่อการลงทุน

3.3.2.3 ขั้นตอนหลักของการทำงานเทคโนโลยีสะอาด

การดำเนินงานเทคโนโลยีสะอาด สำหรับองค์กร อาจแบ่งเป็น 6 ขั้นตอนหลัก ดังต่อไปนี้

- 1) การจัดตั้งงานเทคโนโลยีสะอาด หมายถึง การได้รับคำมั่นสัญญาจากฝ่ายบริหาร การตั้งคณะทำงานเทคโนโลยีสะอาดการกำหนดเป้าหมาย การระบุปัญหาอุปสรรคและโอกาสที่จะแก้ไข
- 2) การรวบรวมข้อมูลขององค์กร หมายถึง การเก็บรวบรวมข้อมูล องค์กร วิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้น การสำรวจในสถานที่ตั้งการระบุทางเลือกต่างๆ ในขั้นต้น และความเร่งด่วนของแต่ละทางเลือก

- 3) การคัดเลือกทางเลือกต่างๆ ในขั้นต้น หมายถึง การคัดเลือกทางเลือกต่างๆ พร้อมกำหนดความเร่งด่วน ด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักแบบง่าย หรืออาศัยประสบการณ์ของคณะทำงานฯ
- 4) การประเมินคัดเลือกทางเลือกที่เหมาะสม หมายถึง การนำทางเลือกต่างๆ ที่ยังไม่ชัดเจนมาทำการประเมินทางด้านเทคนิค ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านเศรษฐศาสตร์ ก่อนที่จะสรุปเป็นทางเลือกที่เหมาะสมพร้อมความเร่งด่วน
- 5) การดำเนินงานปรับปรุง หมายถึง การทำสำรวจออกแบบ การดำเนินการปรับปรุง ตลอดจนการคงไว้ซึ่งงานเทคโนโลยีสะอาด และการติดตามเปรียบเทียบ วัตถุประสงค์เป้าหมายของงานรวมทั้งการดำเนินงานเทคโนโลยีสะอาดในรอบใหม่ เพื่อหาทางเลือกใหม่ๆ เพิ่มขึ้น
- 6) การประเมินผลการดำเนินการ หมายถึง การที่องค์กรได้ทำการประเมินผลการดำเนินการ CT ขององค์กรเพื่อบ่งชี้ความสำเร็จในการทำงานและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น เพื่อหาทางแก้ไขตลอดจนการดำเนินการอย่างต่อเนื่องต่อไป

3.3.2.4 ประโยชน์ของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาขีดความสามารถด้านการผลิตเพื่อให้เกิดการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรม เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ให้ประโยชน์อย่างมากมาย ทั้งภาคอุตสาหกรรม สังคม และสิ่งแวดล้อม ดังนี้

- 1) ลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากการใช้ทรัพยากรต่างๆ ลดลง ได้แก่ น้ำ วัตถุดิบ พลังงาน (ไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง) เป็นผลให้มีการลดของเสีย (น้ำเสีย กากของแข็ง อากาศเสีย) รวมถึงการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสีย
- 2) เพิ่มศักยภาพการผลิต หมายถึงเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต เพิ่มคุณภาพและปริมาณสินค้าที่ออกจำหน่ายและบริการ
- 3) พัฒนาองค์กร เกิดการบริหารงานอย่างเป็นระบบ ภาพพจน์ภายในโรงงานดีขึ้น
- 4) เพิ่มความสามัคคีของพนักงาน หน่วยงานราชการ และชุมชนใกล้เคียง
- 5) เป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ เนื่องจากการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด และหลังจากไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำได้อีกต่อไปแล้ว ก็ทำการบำบัดให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับธรรมชาติดั้งเดิม
- 6) พัฒนาเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ

3.4 วิธีการดำเนินโครงการ

วิธีการดำเนินโครงการนี้ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่ 1 เป็นการทดลองที่หาค่า %ความชื้นของแร่ยิปซัมของโรงงาน โดยค่า %moisture นี้จะนำมาคำนวณหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเผา ยิปซัมให้เหลือน้ำ 0.5 โมเลกุล ด้วยวิธีการประมาณการเทียบหาค่าอุณหภูมิ ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของการควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผา โดยเมื่อได้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น ที่ได้จากการคำนวณแล้ว จึงทำการศึกษาและทดลองโดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้น $\pm 20^{\circ}\text{C}$ จึงนำมาเผาโดยใช้เวลาที่แตกต่างกันคือ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง นั้นหมายถึง 1 อุณหภูมิจะมีเวลาใช้เผาแตกต่างกัน 3 ค่า ในส่วนที่ 3 จะเป็นการดำเนินการทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติของปูนปลาสเตอร์จากโรงงาน และปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด จากการศึกษาขึ้นรูปปลาสเตอร์ในอัตราส่วนปูนปลาสเตอร์ต่อน้ำ (W/P) ได้แก่ 100/100, 92/100, 85/100, 67/100 ปูนปลาสเตอร์ที่ถูกขึ้นรูปจะนำไปทดสอบค่า เวลาที่ใช้ในการก่อตัว, ทดสอบความต้านทานแรงอัด และทดสอบค่าอัตราการดูดซึมน้ำ (Absorption) จากนั้นจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเพื่อคำนวณความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ และศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนผลิตปูนปลาสเตอร์

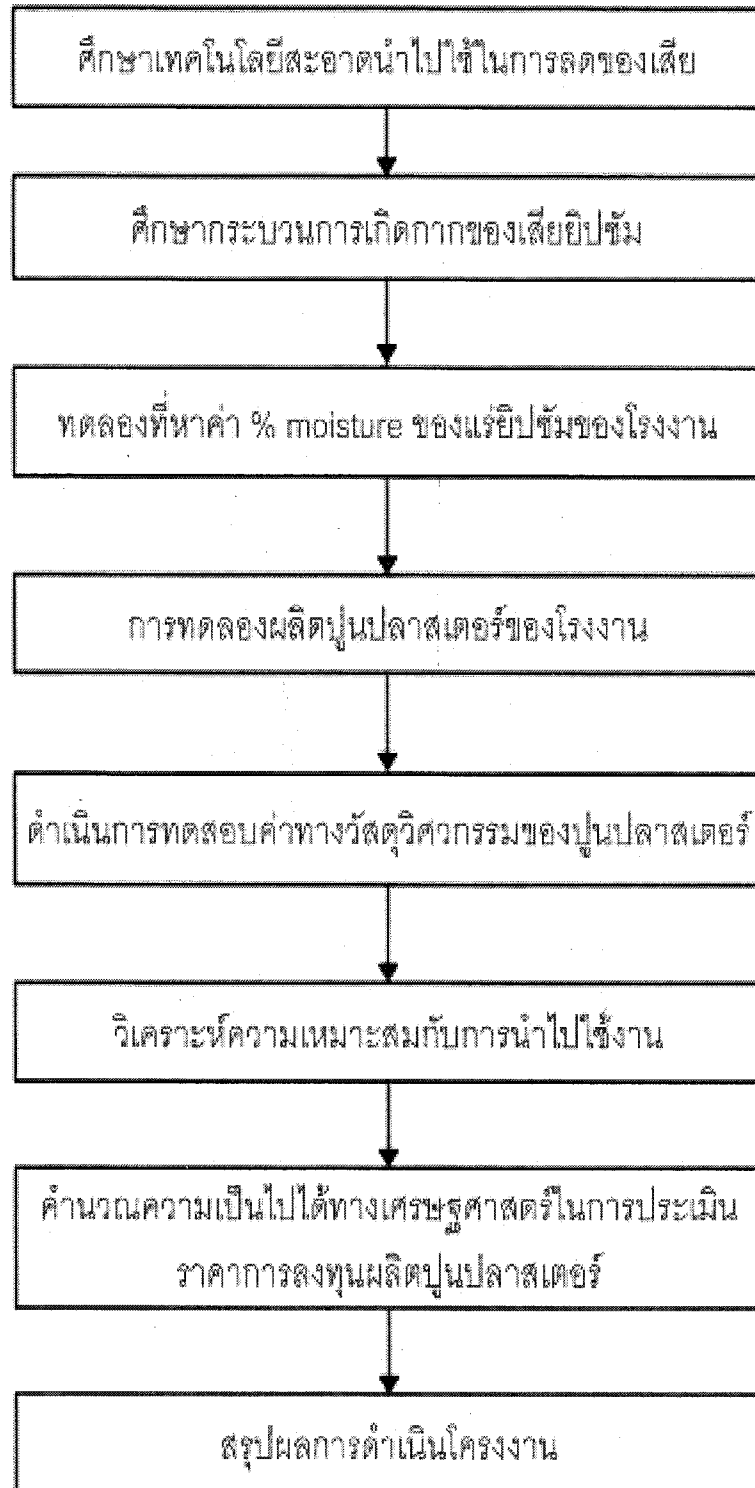
ในการดำเนินการทดลองนี้ได้ใช้ปูนปลาสเตอร์จากบริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด

1. ปูนปลาสเตอร์บริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด
2. ปูนปลาสเตอร์ทั่วไปที่ขายในตลาด

โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินโครงการ มีดังนี้

- เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- ภาชนะสำหรับบรรจุตัวอย่างแร่ยิปซัม
- ตะแกรงร่อนขนาด 40 mesh และ 14 mesh
- เครื่อง pH meter Mettler Teledo
- เครื่อง Universal Oven Memmert UNB 100-500
- Discator
- แผ่นกระจก
- ตุ่มน้ำหนัก 1 กก.
- เครื่องมือ Universal Test Machine (Instron training series 5569)
- บีกเกอร์

โดยรูปข้างล่างนี้ได้แสดงถึงแผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน

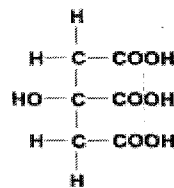
3.4.1 ศึกษากระบวนการผลิตกรดมะนาว

3.4.1.1 รายละเอียดของการผลิตก่อนเกิดยิปซัม

บริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด เป็นบริษัทที่ผลิตและจำหน่ายกรดมะนาว ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเกล็ดเม็ดเล็กๆ สีขาวขุ่น มีรสเปรี้ยว และใช้สำหรับอุตสาหกรรมประเภทเครื่องดื่ม ของดอง อาหารกระป๋องและยา ซึ่งใช้ประโยชน์ในการปรับค่าความเป็นด่าง (pH) ช่วยถนอมอาหารและอื่นๆ ซึ่งในขั้นตอนกระบวนการผลิตนั้น จะแยกเป็น 2 ฝ่ายคือ ฝ่ายการผลิตที่ 1 และฝ่ายการผลิตที่ 2

1) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการผลิตกรดมะนาว

กรดมะนาว หรือกรดซีตริก (Citric Acid) มีชื่อทางเคมีว่า 2-hydroxy-1,2,3- propanetricarboxylic acid ตามสูตรโครงสร้างของกรดนี้แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โครงสร้างโมเลกุลของกรดมะนาว

กรดมะนาวแยกได้เป็นครั้งแรกจากน้ำมะนาวในปี 1784 โดย Scheele กรดชนิดนี้พบตามธรรมชาติ โดยเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อผลไม้หลายชนิด เช่น ส้ม มะนาว สับปะรด แพร์ มะเดื่อ และผลไม้อื่นๆ กรดมะนาวที่สกัดได้จากผลไม้เรียกว่ากรดมะนาวธรรมชาติ มักนิยมใช้กรดซีตริกผสมแทนน้ำตาลทราย เพราะ กรดซีตริกจะทำให้ได้รส กลิ่น ในความเป็นธรรมชาติ มากกว่าแทนที่จะเป็นรส กลิ่น ที่ออกเป็นน้ำเชื่อม หรือน้ำหวาน (natural citric acid) ซึ่งการผลิตกรดมะนาวซีตริกเพื่อเป็นการค้าขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศอังกฤษ ตั้งแต่ปี 1826 เป็นต้นมา โดยผลิตจากแคลเซียมซีเตรด (Calcium citrate) ที่ได้มาจากน้ำมะนาว ต่อมาในปี 1880 ได้มีการสังเคราะห์กรดมะนาวจากกลีเซอรอล และจากวัตถุดิบอื่นๆ แต่การสังเคราะห์กรดมะนาวจากวัตถุดิบต่างๆ มีข้อเสีย เช่น วัตถุดิบที่ใช้มีราคาแพง หรือวัตถุดิบที่ใช้เป็นอันตราย หรือใช้ในกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน เป็นต้น นับตั้งแต่นั้นมาการผลิตกรดมะนาวได้พัฒนามาเป็นกระบวนการหมัก

2) กระบวนการผลิตกรดมะนาว

กระบวนการผลิตกรดมะนาว แบ่งได้เป็น 2 ฝ่าย ทั้งหมด 8 แผนก

ฝ่ายผลิตที่ 1 ได้แก่ 1) แผนกเตรียมมัน

2) แผนกหมัก

3) แผนกกรอง

ฝ่ายผลิตที่ 2 ได้แก่

1) แผนกตกเกลือ-สลายกรด

2) แผนกแลกเปลี่ยน

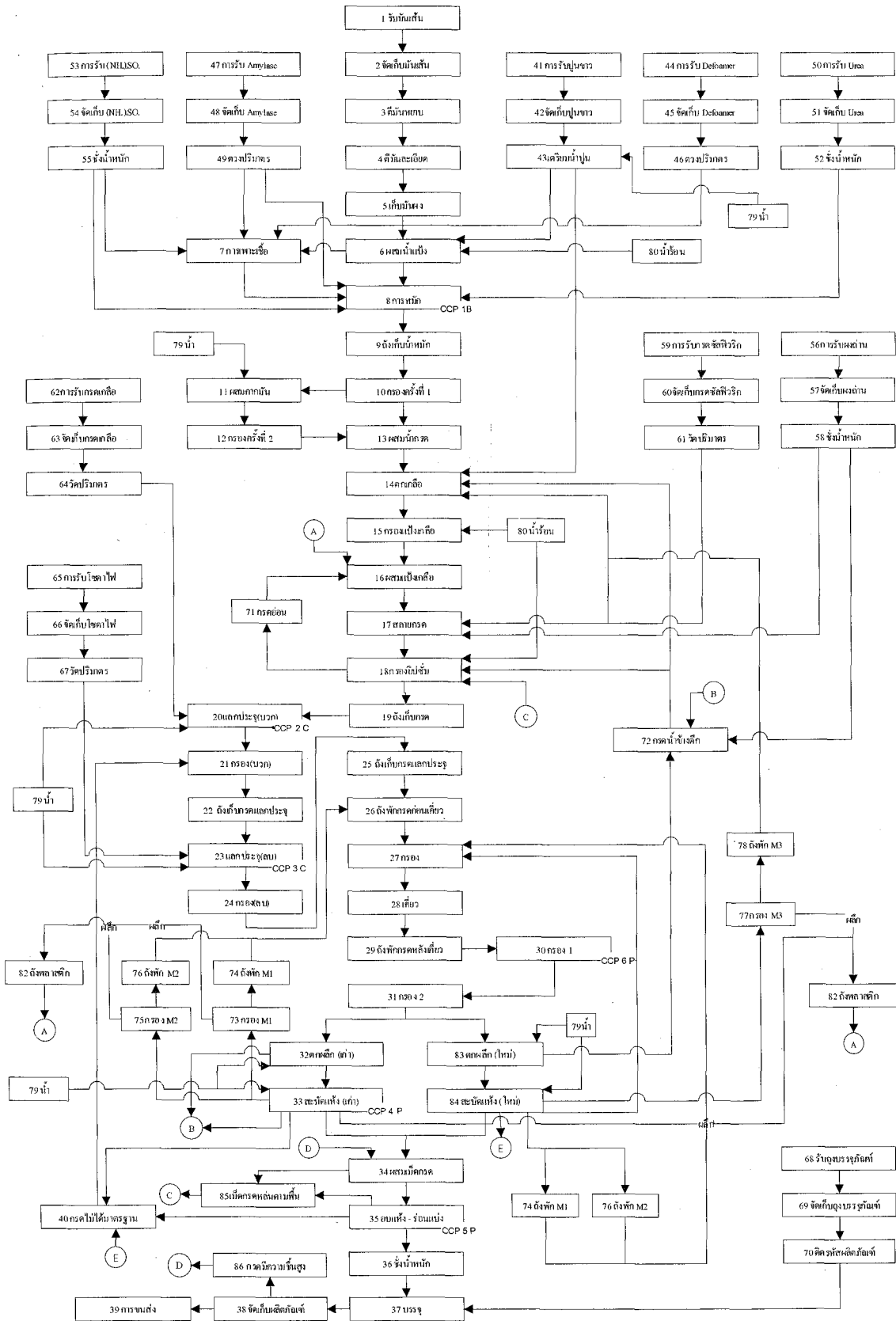
3) แผนกเคี้ยว-ตกผลึก

4) แผนกสะบัดแห้ง

5) แผนกอบแห้ง – บรรจุ

ในการผลิตกรดซิตริก (Citric acid) หรือกรดมะนาว จะเริ่มต้นจากฝ่ายผลิตที่ 1 (Fermentation) โดยการนำมันสำปะหลังเข้าเครื่องตีมัน ซึ่งจะผ่านเครื่องตีมันหยาบ แล้วจึงส่งเข้าสู่เครื่องตีมันละเอียด ก็จะได้มันสำปะหลังที่มีลักษณะละเอียด เรียกว่า ผงมัน จากนั้นจึงผสมน้ำเพื่อที่จะส่งไปยังถังวัดชิ้นและถังหมัก ซึ่งในจุดนี้จะมีการเติม ปุ๋ยยูเรีย, อะไมเลส, น้ำยาลดฟอง แล้วจึงส่งไปยังเครื่องกรอง เพื่อแยกกรดซิตริกและกากมันออกจากกัน จากนั้นจึงเข้าสู่ฝ่ายผลิตที่ 2 (Purification) โดยผ่านกระบวนการตกเกลือ (Neutraltization) ในกระบวนการนี้กรดซิตริกจะอยู่ในรูปแคลเซียมซิเตรท (แป้งเกลือ) แล้วจึงส่งเข้าสู่กระบวนการสลายกรด (Acidolysis) จากนั้นจึงส่งเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนบวก-ลบ (Ion exchange resin) แล้วจึงส่งไปเคี้ยว (Evaporation) เพื่อเพิ่มความเข้มข้น ต่อจากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการตกผลึก (Crystallization) ในกระบวนการนี้กรดซิตริกจะอยู่ในรูป เม็ดกรด จากนั้นจึงส่งไปยังกระบวนการสะบัดแห้ง เพื่อแยกเม็ดกรดออกจากของเหลว ก็จะได้เม็ดกรดซิตริกที่มีลักษณะขาว ใส เป็นมันวาว สุดท้ายก็จะเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง โดยผ่านเครื่องร่อนเพื่อคัดแยกขนาด และบรรจุเม็ดกรดลงถุงบรรจุภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

Process Flow Diagram of Citric Acid Manufacture



รูปที่ 3.5 Process Flow Diagram of Citric Acid Manufacture

3) รายละเอียดของกระบวนการผลิตกรดมะนาว

รายละเอียดขั้นตอนกระบวนการผลิตทั้ง 8 แผนก มีดังนี้

➤ แผนกเตรียมมัน

จากวัตถุดิบ (Raw Material) ได้แก่ มันส้มปะหลังตากแห้ง หรือมันเส้น ซึ่งถูกเก็บไว้ภายในโรงมัน จะเข้าสู่แผนกเตรียมมัน โดยเริ่มจากการนำมันเข้าสู่เครื่องตีมันและเครื่องตีมันละเอียด จากนั้นมันผงที่ได้จะเข้าสู่บ่อผสม ซึ่งจะมีการเติมน้ำร้อน, น้ำยาลดฟอง (Defoamer), อะไมเลส (Amylese) เพื่อช่วยในการเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำตาล และเติมปูนขาวเพื่อปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 5.5 – 6.8 น้ำแป้งที่ได้จากการผสมจะถูกส่งไปยังถังวัดชิ้นและถังหมัก

➤ แผนกหมัก

แผนกหมักมีหน้าที่ในเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากมันส้มปะหลัง ไปเป็นกรดมะนาวโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ จากของผสมที่ได้จากแผนกเตรียมมัน และจะถูกส่งมายังถังวัดชิ้น และถังหมักเพื่อทำการเลี้ยงเชื้อ แผนกหมักถือว่ามีผลสำคัญต่อกระบวนการผลิตกรดมะนาวมากที่สุด ซึ่งต้องมีการเติมปุ๋ย, น้ำยาลดฟอง และมีการควบคุมอุณหภูมิและความดันในถังหมัก โดยวัตถุดิบที่ใช้จะต้องเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต ซึ่งในที่นี้ใช้มันส้มปะหลัง และใส่ปูนขาวเพื่อช่วยในการปรับ pH ในถังหมักและระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก 8 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาการหมักจะส่งกรดมะนาวเข้าบ่อพัก ก่อนที่จะส่งต่อไปยังแผนกกรอง

➤ แผนกกรอง

แผนกกรองมีหน้าที่แยกของผสมระหว่างของเหลว และของแข็งแขวนลอยออกจากกันโดยน้ำกรดที่ได้จากการหมักจะถูกส่งมายังถังต้มกรด โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 70-80 °C จากนั้นจะมีการอัดลมเข้าเครื่องกรอง (Press Filter) เพื่อแยกน้ำกรดออกจากกากมันโดยน้ำกรดที่ได้จะถูกเก็บไว้ในถังเก็บกรด ส่วนกากมันที่ได้จากการกรองครั้งแรก จะถูกนำไปผสมกับน้ำร้อนในบ่อผสม แล้วจึงนำของผสมนั้นกลับมารองอีกครั้ง น้ำกรดที่ได้จากการกรองครั้งที่ 2 จะถูกส่งไปรวมกับน้ำกรดที่กรองได้ในครั้งแรก เพื่อส่งต่อไปยังแผนกตกเกลือ-สลายกรด ส่วนกากมันที่ได้จากการกรองครั้งที่สองนี้จะมีการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ทำปุ๋ย หรือขายเพื่อนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์

➤ แผนกตกเกลือ-สลายกรด

น้ำกรดที่ได้จากแผนกกรองในฝ่ายผลิต 1 จะถูกนำมาทำให้มีความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้น โดยบรรจุในถังเก็บและจะถูกปั๊มเข้าสู่ถังตกเกลือเพื่อทำปฏิกิริยากันกับปูนขาวกลายเป็นเบี่ยงเกลือ

หรือแคลเซียมซิทเรท ($\text{Ca}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) แล้วจึงมีการปล่อยของผสมเข้าสู่เครื่องกรองสายพาน ซึ่งใช้แยกแ่งเกลือออกจากน้ำตาลเสีย โดยใช้แวกคัม เป็นตัวดูดน้ำตาลเสียออกจากแ่งเกลือ และในเครื่องกรองสายพานจะใช้น้ำร้อน ($90-95^\circ\text{C}$) ล้างทำความสะอาดแ่งเกลือที่มีน้ำตาลเสียติดอยู่ออกไป น้ำตาลเสียที่ถูกแยกออกจะถูกพักไว้ในกระบวนน้ำตาลเสียแล้วถูกส่งต่อไปเพื่อทำการบำบัด หลังจากได้แ่งเกลือแล้วจะถูกส่งมายังถังสลายกรดเพื่อเติมผงถ่าน และกรดซัลฟิวริกเพื่อทำการจับสี, โปรตีน และสิ่งเจือปนอื่นๆ จากนั้นจึงนำของผสมเข้าสู่เครื่องกรองสายพานเพื่อกรองเอาเย็บขี้ม่อออกจากสารละลายกรดมะนาวโดยใช้น้ำร้อน $90-95^\circ\text{C}$ ในการล้างกรดมะนาวที่ค้างในเย็บขี้ม่อ ส่วนเย็บขี้ม่อจะถูกผสมกับน้ำในบ่อผสมและจะถูกส่งไปยังบ่อเย็บขี้ม่อด้านนอกอาคาร กรดที่ได้จะถูกส่งไปยังเครื่องกรอง (Press Filter) โดยมีการใช้สารช่วยกรอง (Filter Aids) แล้วจึงส่งไปยังถังพักกรดเพื่อรอส่งไปยังแผนกแลกประจุในขั้นต่อไป

➤ แผนกแลกประจุ

แผนกแลกประจุมีหน้าที่ดักจับไอออนต่างๆ ที่ไม่ต้องการให้เจือปนไปกับสารละลายกรดมะนาว เพื่อให้กรดมะนาวมีความบริสุทธิ์ขึ้น โดยสารละลายกรดมะนาวจากแผนกตกเกลือ-สลายกรด จะเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation Exchange) สารละลายที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนบวกจะกำจัด Fe^{3+} Ca^{2+} และ Pb^{2+} แล้วจะถูกส่งไปยังถังพักกรดเพื่อรอแลกเปลี่ยนประจุลบ ส่วนกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion Exchange) กำจัด Cl และ SO_4^{2-} เมื่อกรดผ่านการแลกประจุทั้งบวกและลบแล้วจะถูกส่งไปแผนกเคี้ยว

➤ แผนกเคี้ยว-ตกผลึก

แผนกเคี้ยวทำหน้าที่ระเหยน้ำออกจากสารละลายกรดมะนาว เพื่อให้มีความเข้มข้นมากขึ้น โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งจะนำมาจากเคี้ยวที่อุณหภูมิสูง $85-90^\circ\text{C}$ ใช้เวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง สารละลายกรดมะนาวที่มีความเข้มข้นสูงจะผ่านเครื่องกรอง และถูกส่งไปยังถังตกเกลือเพื่อทำการตกผลึกให้ได้เป็นเม็ดกรดมะนาว โดยถังตกผลึกนี้จะมีการหล่อเย็นโดยใช้น้ำเย็น เพื่อให้อุณหภูมิลดลงเหลือ $14-17^\circ\text{C}$ ก่อนที่จะส่งไปยังแผนกสะบัดแห้ง

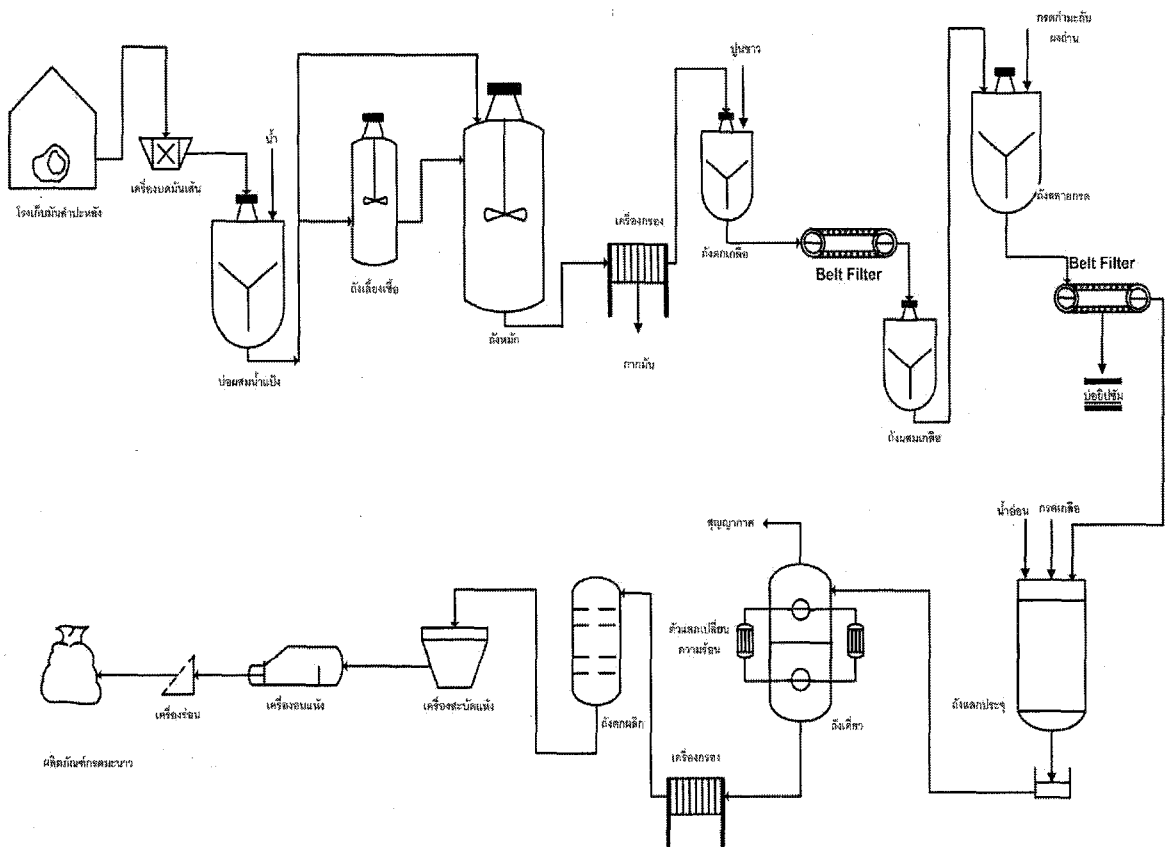
➤ แผนกสะบัดแห้ง

แผนกสะบัดแห้งมีหน้าที่แยกผลึกกรดมะนาวออกจากของเหลว ซึ่งอาศัยแรงเหวี่ยงในการแยกของแข็งออกจากของเหลว โดยของเหลวที่แยกออกมาได้นี้เรียกว่า น้ำแม่ 1 (M1) ซึ่งน้ำแม่ 1 จะ

ถูกนำกลับมาผ่านแผนกเคียว, ตกผลึก และสะบัดแห้งอีกครั้ง น้ำแม่ 1 ที่นำกลับไปใช้ใหม่นั้นจะได้เป็นของเหลวอีกครั้งเรียกว่า น้ำแม่ 2 (M2) ซึ่งน้ำแม่ 2 จะถูกนำมาผ่านแผนกเคียว, ตกผลึก และสะบัดแห้ง ของเหลวที่แยกได้นี้เรียกว่า น้ำแม่ 3 (M3) ซึ่งจะถูกส่งไปยังแผนกตกเกลือ-สลายกรด จากนั้นเม็ดกรดมะนาวที่ได้จะถูกส่งไปยังแผนกอบแห้ง

➤ **แผนกอบแห้ง**

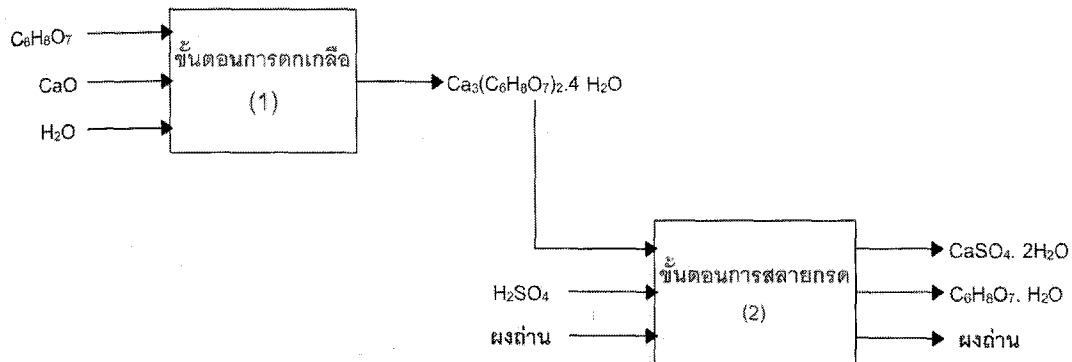
เมื่อเม็ดกรดผ่านจากระบวนการสะบัดแห้งมา ความชื้นที่มียังมีค่าสูงอยู่จึงต้องส่งผ่านเข้าเครื่องอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เพื่อไล่เอาความชื้นออกจากเม็ดกรด และถูกแยกขนาดของเม็ดกรดโดยการผ่านตะแกรงร่อนส่งมายังภาชนะที่รองรับเม็ดกรดมะนาว แล้วเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายคือ การบรรจุ โดยแผนผังกระบวนการผลิตกรดมะนาวของบริษัทไทยซีตริก แอซิด จำกัด แสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนผังกระบวนการผลิตกรดมะนาว

3.4.2 ศึกษากระบวนการเกิดกากของเสียยิปซั่ม

ในกระบวนการผลิตกรดมะนาว ยิปซั่มเกิดขึ้นในฝ่ายผลิตที่ 2 ของแผนกตกเกลือ-สลายกรด ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 กระบวนการเกิดกากของเสียยิปซั่ม

จากรูปที่ 3.7 สามารถแสดงสมการปฏิกิริยาการเกิดกากของเสียยิปซั่มโดยเริ่มจากหมายเลข (1) ขั้นตอนการตกเกลือ ดังนี้



กรดมะนาวที่ได้จากการกรอง จะถูกนำไปทำให้มีความบริสุทธิ์ โดยเข้าสู่ถังตกเกลือเพื่อทำปฏิกิริยากันกับปูนขาวกลายเป็นแ่งเกลือ หรือแคลเซียมซิทเรท ($\text{Ca}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) และใช้น้ำร้อนเพื่อล้างน้ำตาลเสียออกจากแ่งเกลือ แล้วเข้าสู่หมายเลข (2) ขั้นตอนการสลายกรด ซึ่งมีปฏิกิริยา ดังสมการข้างล่างนี้



แคลเซียมซิทเรท ($\text{Ca}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) จะลงสู่ถังสลายกรดแล้วเติมสารเคมีกรดกำมะถัน (H_2SO_4) เพื่อทำกรดมะนาวให้บริสุทธิ์ และเติมผงถ่าน เพื่อเป็นการฟอกสีกรดมะนาว จากปฏิกิริยาที่ได้นี้จะเกิดกากของเสียที่เป็นยิปซั่มเกิดขึ้น แต่ยิปซั่มยังมีน้ำกรดมะนาวติดอยู่ จึงต้องใช้แวกค์ดูดน้ำกรดมะนาวออกจากยิปซั่มไปยังถังพักกรด ส่วนยิปซั่มจะถูกส่งไปยังสกรูและถูกลำเลียงไปยังบ่อเก็บต่อไป

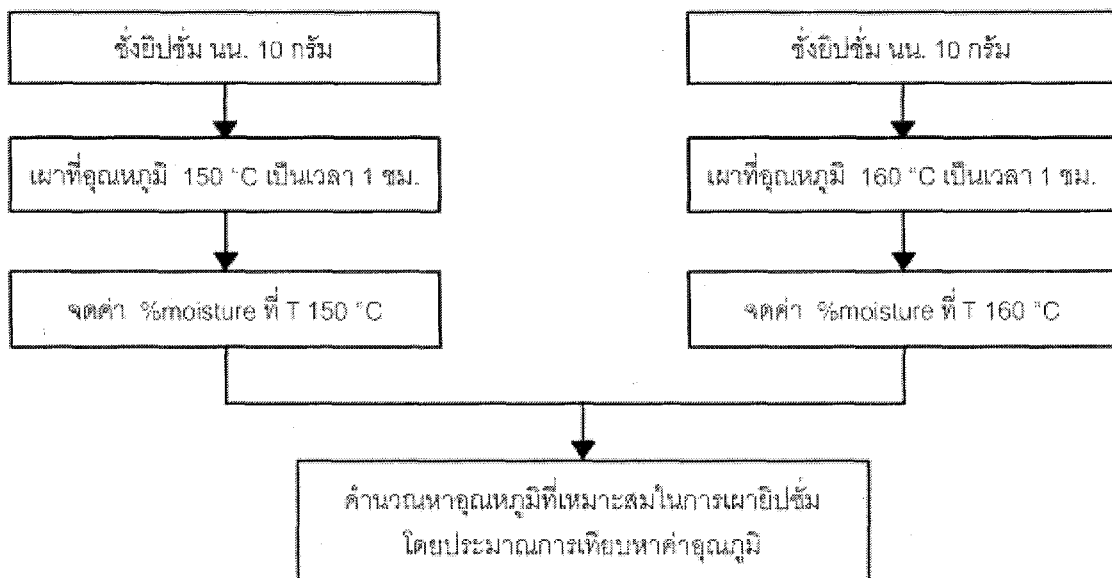
ยิปซั่มของโรงงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตกเกลือ-สลายกรด ซึ่งมีคุณลักษณะดังตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะทางกายภาพของยิปซัมโรงงาน

ลึ	ดำ-เทา
%moisture (40 °C)	22.05
pH	5-7
% กรด	0.05

3.4.3 การทดสอบหาค่า %moisture

ในการศึกษาและทดลองการนำยิปซัมมาเป็นปูนปลาสเตอร์ การหาค่า %moisture ถือว่ามีความสำคัญมาก เพราะในเบื้องต้นยิปซัมจากทางโรงงานจะไม่สามารถทราบค่าได้เลยว่ามีน้ำในผลึกอยู่ที่โมเลกุล ดังนั้น จึงต้องการหาปริมาณความชื้น ร้อยละเพื่อจะนำไปหาค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา โดยเก็บตัวอย่างยิปซัมจากกระบวนการผลิตมาล้างน้ำเสียก่อนเพราะมีลักษณะเป็นสีดำ-เทา จากนั้นนำไปตากแดด 7 วัน และเก็บตัวอย่างมาเช็คหาค่า %moisture ทุกวัน โดยทำการเผาเป็นเวลา 1 ชม. ที่อุณหภูมิ 150 °C และ %moisture ที่อุณหภูมิ 160 °C ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.8



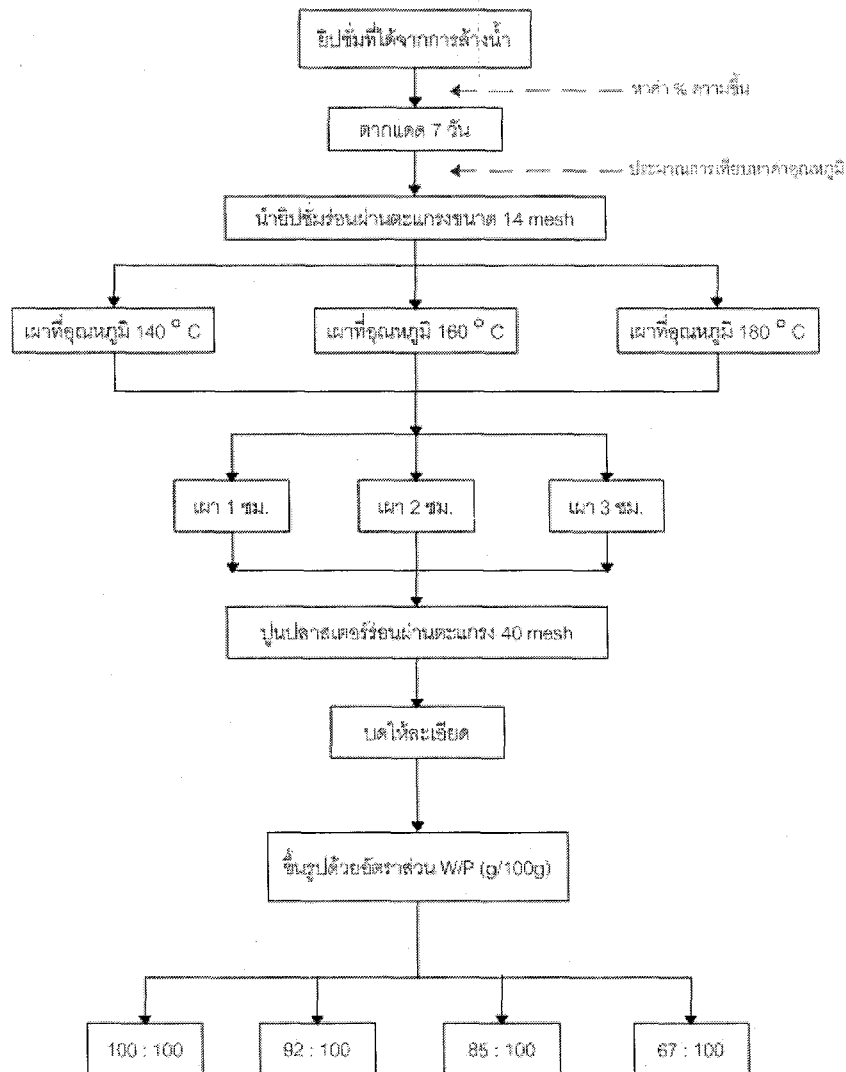
รูปที่ 3.8 แผนภูมิการทดลองหา %ความชื้นและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผายิปซัม

ตัวอย่างที่เลือกนำมาทดสอบจะนำมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำผลึกด้วยวิธี ASTM C471-76 (Chemical Analysis of Gypsum and Gypsum Products) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ปูน

พลาสติกอร์ และทำการควบคุมระยะเวลาและอุณหภูมิเริ่มต้นที่เลือกใช้ในการทดสอบให้สามารถนำไปวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาได้จริง

3.4.4 การทดลองผลิตปูนพลาสติกอร์ของโรงงาน

เมื่อทำการทดลองหาค่าความชื้นและประมาณการเทียบหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการเผา ยิปซั่ม ที่ได้จากการล้างน้ำและตากแดดเป็นระยะเวลา 7 วัน จะผ่านการร่อนผ่านตะแกรง 14 mesh ก่อนที่นำไปเผาที่อุณหภูมิต่างๆ โดยอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณจะเป็นค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการศึกษาและทดลองผลิตปูนพลาสติกอร์ ซึ่งอุณหภูมิเริ่มต้นที่ได้จะ $\pm 20^{\circ}\text{C}$ และใช้เวลาในการเผา 1 ชม., 2 ชม., และ 3 ชม. แล้วจึงนำไปขึ้นรูปในอัตราส่วนปูนพลาสติกอร์ต่อน้ำ (W/P ; g/100g) ขนาด 46 x 65 x 32 มม. ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.9



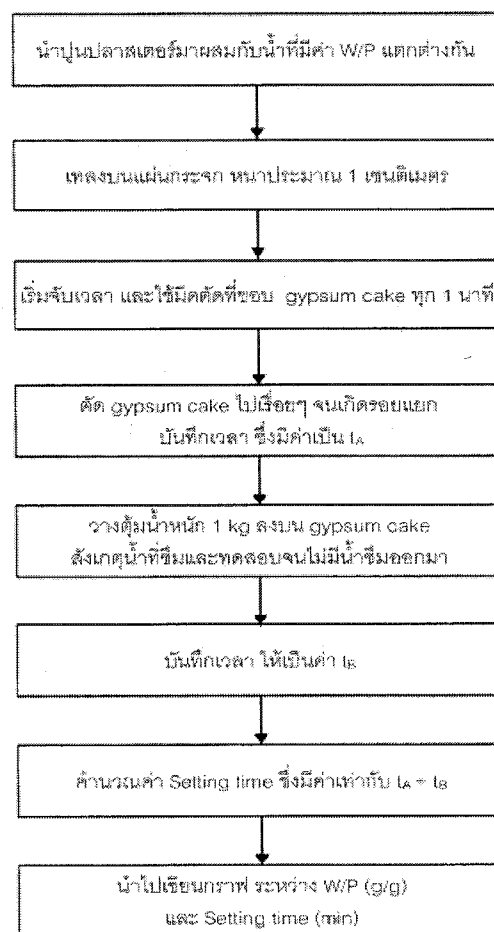
รูปที่ 3.9 แผนภูมิแสดงค่าอุณหภูมิและ W/P ratio ที่ใช้ในการทดลองผลิตปูนพลาสติกอร์

3.4.5 การดำเนินการทดสอบค่าทางวัสดุวิศวกรรมของปูนปลาสเตอร์

การทดสอบปูนปลาสเตอร์ถือมีความสำคัญ เพราะการทดสอบสมบัติต่างๆ จะสามารถทำให้เลือกใช้วัสดุได้เหมาะสมกับการใช้งาน และลักษณะการผลิต ดังนั้นในการศึกษาได้ทำการทดสอบได้แก่ เวลาที่ใช้ในการก่อตัวของปูนปลาสเตอร์ ค่าต้านทานแรงอัด ค่าความแข็งแรง และอัตราการดูดซึมน้ำ ซึ่งสมบัติเหล่านี้เป็นผลมาจากสมบัติของปูนปลาสเตอร์และอัตราส่วนผสมระหว่างปลาสเตอร์และน้ำ จึงเป็นเหตุผลให้ต้องมีการดำเนินการทดสอบค่าต่างๆ ด้วยวิธีการและเครื่องมือทดสอบที่มีลักษณะเฉพาะ และแตกต่างกัน

3.4.5.1 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการก่อตัว (Time of Setting)

การทดสอบเวลาที่ใช้ในการก่อตัวของปูนปลาสเตอร์ ได้แบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ t_A ซึ่งเป็นเวลาที่ปูนปลาสเตอร์เริ่มก่อตัว และ t_B ซึ่งเป็นเวลาที่ปูนปลาสเตอร์เริ่มก่อตัวแล้ว จากการนำปูนปลาสเตอร์มาขึ้นรูปด้วยอัตราส่วนปูนปลาสเตอร์ต่อน้ำที่แตกต่างกัน ดังแสดงวิธีการทดลองดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วิธีการทดสอบเวลาที่ใช้ในการก่อตัวของปูนปลาสเตอร์

3.4.5.2 การทดสอบความต้านทานแรงอัด (Compressive Strength)

นำตัวอย่างปูนปลาสเตอร์ที่ขึ้นรูปมาทดสอบการรับแรงกดอัด ด้วยเครื่องมือ Universal Test Machine (Instron training series 5569) ระบบอัตโนมัติ ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาคารเครื่องมือ 6 ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโลหการ และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ที่มีขายตามท้องตลาด โดยแสดงรูปเครื่องการทดสอบไว้ในภาคผนวก ก.3

3.4.5.3 ทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

เป็นการทดสอบว่าปูนปลาสเตอร์มีสมบัติด้านการดูดซึมน้ำมากน้อยแค่ไหน โดยใช้ค่า W/P ที่แตกต่างกัน มาทำการเปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ที่มีขายตามท้องตลาด ดังแสดงวิธีการทดลองดังรูปที่ 3.11



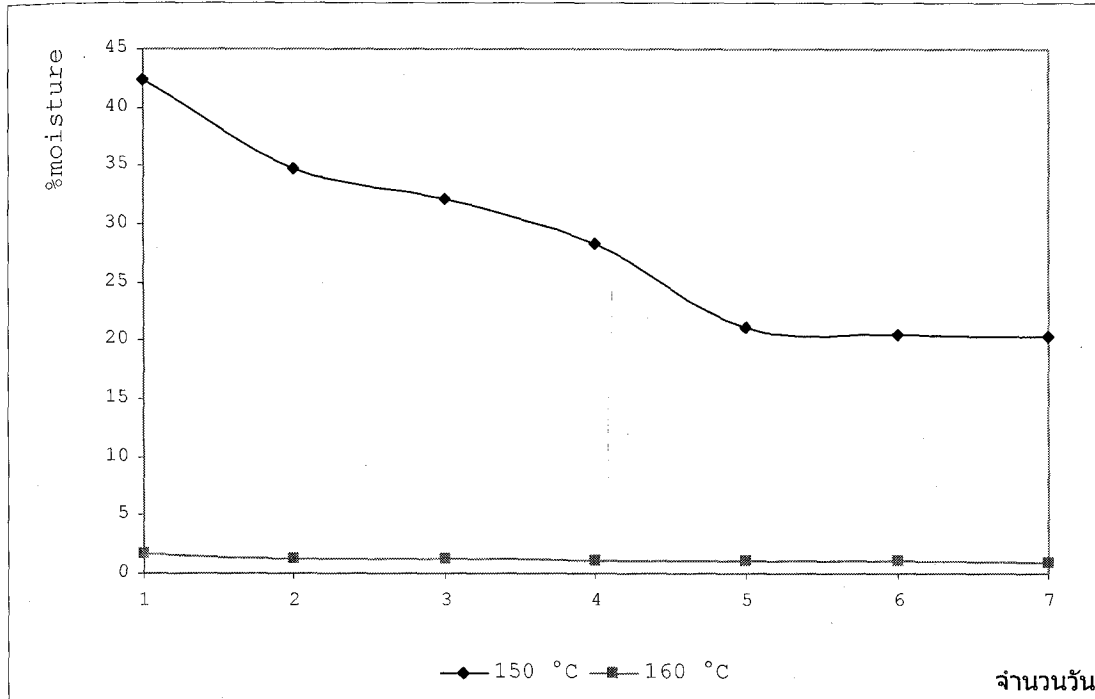
รูปที่ 3.11 วิธีการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของปูนปลาสเตอร์

3.5 ผลการดำเนินโครงการ

จากการดำเนินการศึกษาและทดลองการนำยิปซัมมาผลิตเป็นปูนปลาสเตอร์นั้น ได้วิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าความชื้น และค่าทางวัสดุวิศวกรรมของปูนปลาสเตอร์ โดยนำมาเปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ที่มีขายตามท้องตลาด

3.5.1 ผลการทดสอบการหาค่าความชื้น

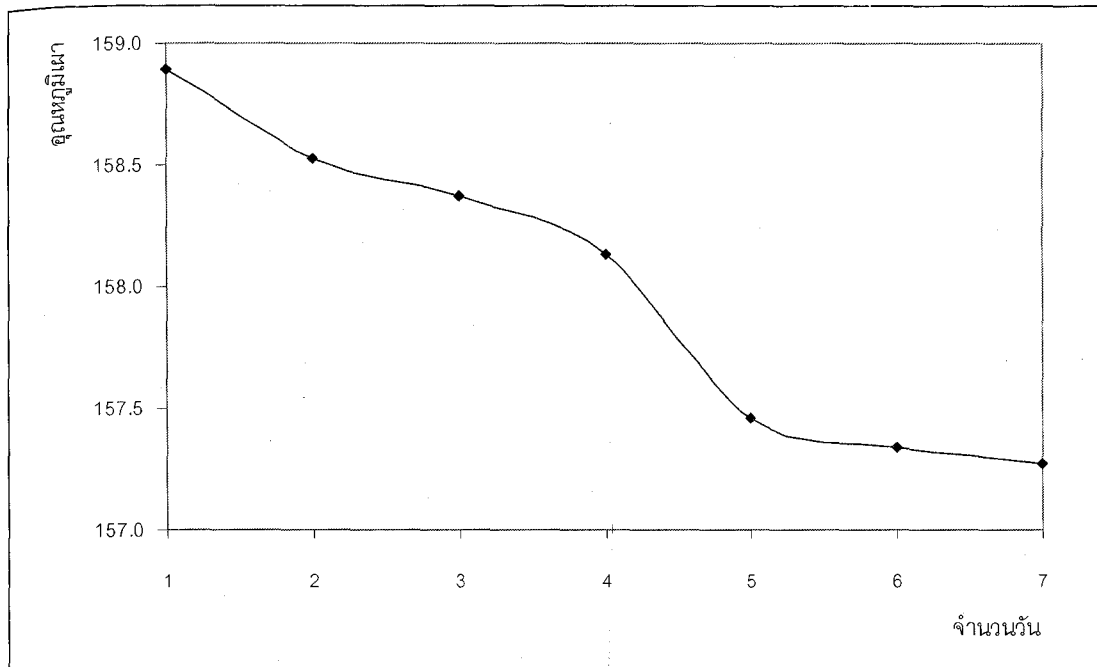
ผลการทดลองทดสอบหาค่า %ความชื้นโดยเฉลี่ยจากการตากแดดในระยะเวลา 7 วัน และทำการเผาที่อุณหภูมิ 150 °C และทำการเผาที่อุณหภูมิ 160 °C แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันที่ตากแดด กับค่า%ความชื้นของยิปซัมโรงงานจากการเผาที่อุณหภูมิ 150 °C และ 160 °C

จากรูปที่ 3.12 พบว่าในการทดลองหาค่า %ความชื้นยิปซัม โดยนำไปล้างน้ำแล้วนำมาเผาที่อุณหภูมิ 150 °C ในระยะเวลา 7 วัน เผาตัวอย่างละ 1 ชม. และทำการจดบันทึกค่าทุกวัน จะเห็นได้ว่า %ความชื้นมีค่าลดลงตามลำดับ โดยวันที่ 7 มีค่า %ความชื้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 20.33 ซึ่งน้อยกว่าวันที่ 1 ที่มีค่าเท่ากับ 42.43 ส่วน %ความชื้นยิปซัม โดยนำไปล้างน้ำแล้วนำมาเผาที่อุณหภูมิ 160 °C ในระยะเวลา 7 วัน เผาตัวอย่างละ 1 ชม. จะเห็นได้ว่า %ความชื้นมีค่าลดลงตามลำดับ โดยวันที่ 7 มีค่า %ความชื้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.91 ซึ่งน้อยกว่าวันที่ 1 ที่มีค่าเท่ากับ 1.70 ค่าการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

เมื่อนำผลการทดลองการหาค่าความชื้นมาประมาณค่าหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการเผายิปซัมนั้นซึ่งแสดงการคำนวณไว้ในภาคผนวก ข.3 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาตากแดดไว้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันที่ตากแดด กับค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา
ยิปซัม

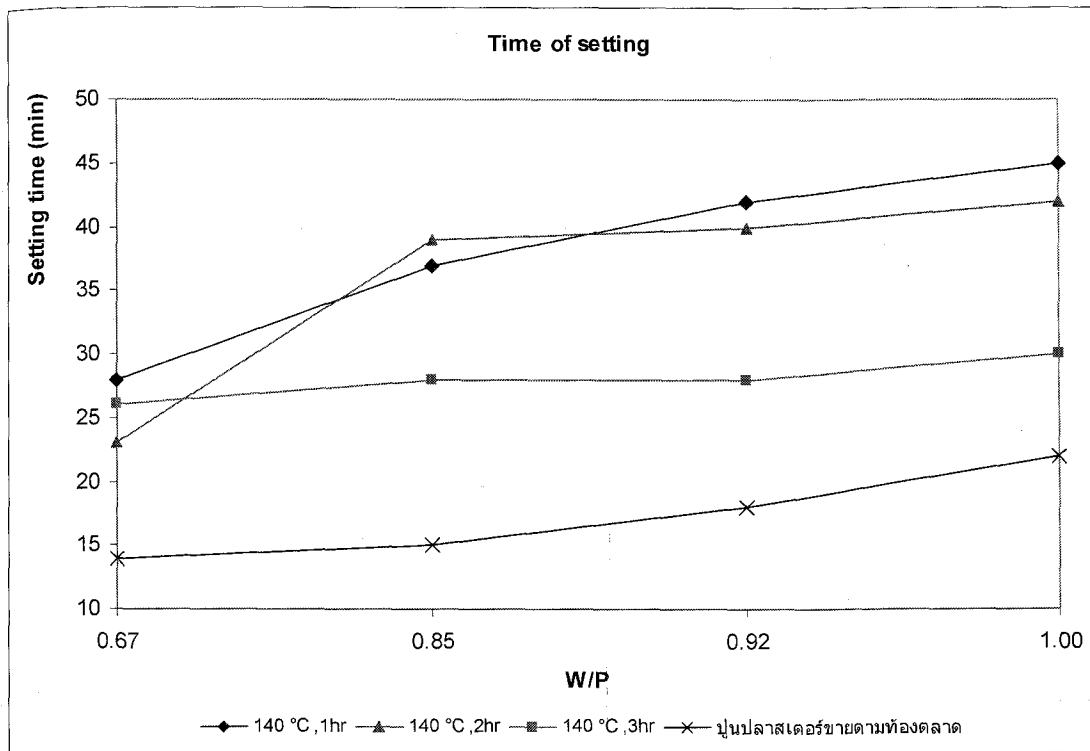
จากรูปที่ 3.13 ผลการทดลองหาค่าอุณหภูมิ วันที่ 1 ถึงวันที่ 7 ค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 157 °C จนเกือบถึงอุณหภูมิ 160 °C เมื่อประมาณการเทียบหาค่าอุณหภูมิในการเผาในวันที่ 1 มีค่าเท่ากับ 158.90 °C และวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 157.28 °C ซึ่งจะเห็นได้ว่าแปรผกผันกับค่า %ความชื้น เมื่อ %ความชื้นน้อยลง อุณหภูมิในการเผาก็มีค่าลดลงด้วยตามลำดับ

3.5.2 ผลการทดสอบเวลาที่ใช้ในการก่อตัว (Time of Setting)

การทดสอบเวลาที่ใช้ในการก่อตัวของปูนปลาสเตอร์ทางโรงงานและเปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด ซึ่งคำนวณจากเวลาที่ปูนปลาสเตอร์เริ่มก่อตัวและเวลาที่ปูนปลาสเตอร์เริ่มก่อตัวแล้ว ($t_A + t_B$) โดยค่าที่ได้จากการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ข.3

➤ ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 140 °C

เมื่อนำยิปซัมไปเผาที่อุณหภูมิ 140 °C แล้วนำมาขึ้นรูปปูนปลาสเตอร์โดยใช้อัตราส่วน W/P ได้แก่ 0.67, 0.85, 0.92 และ 1.00 ที่เวลาต่างๆ มาเปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ตามท้องตลาด ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.14

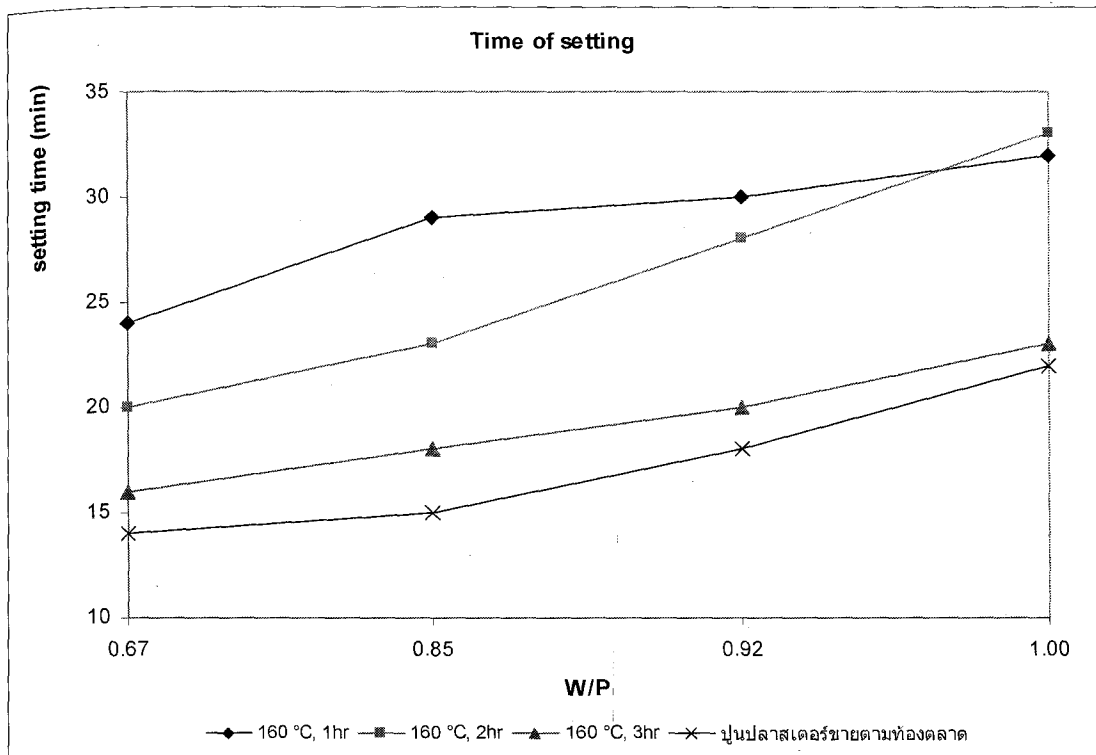


รูปที่ 3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับเวลาที่ใช้ในการก่อตัวของปูนปลาสเตอร์ของโรงงานที่เผาอุณหภูมิ 140°C และปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด

จากรูปที่ 3.14 จะเห็นได้ว่าเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 3 ชม. จะมีระยะเวลาในการก่อตัวใกล้เคียงกันกับปูนปลาสเตอร์ที่มีขายตามท้องตลาด ส่วนเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 1 และ 2 ชม. จะมีการก่อตัวของปูนปลาสเตอร์ที่ช้ามาก เมื่อดูที่ค่า W/P ที่แตกต่างกัน ในการใช้อัตราส่วนผสมของน้ำในการผสมมากปูนปลาสเตอร์ของโรงงานจะใช้เวลาในการก่อตัวนานขึ้นตามลำดับ

➤ ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 160°C

เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 160 °C แล้วนำมาขึ้นรูปปูนปลาสเตอร์โดยใช้อัตราส่วนผสม W/P ได้แก่ 0.67, 0.85, 0.92 และ 1.00 ที่เวลาต่างๆ มาเปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ตามท้องตลาด ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.15

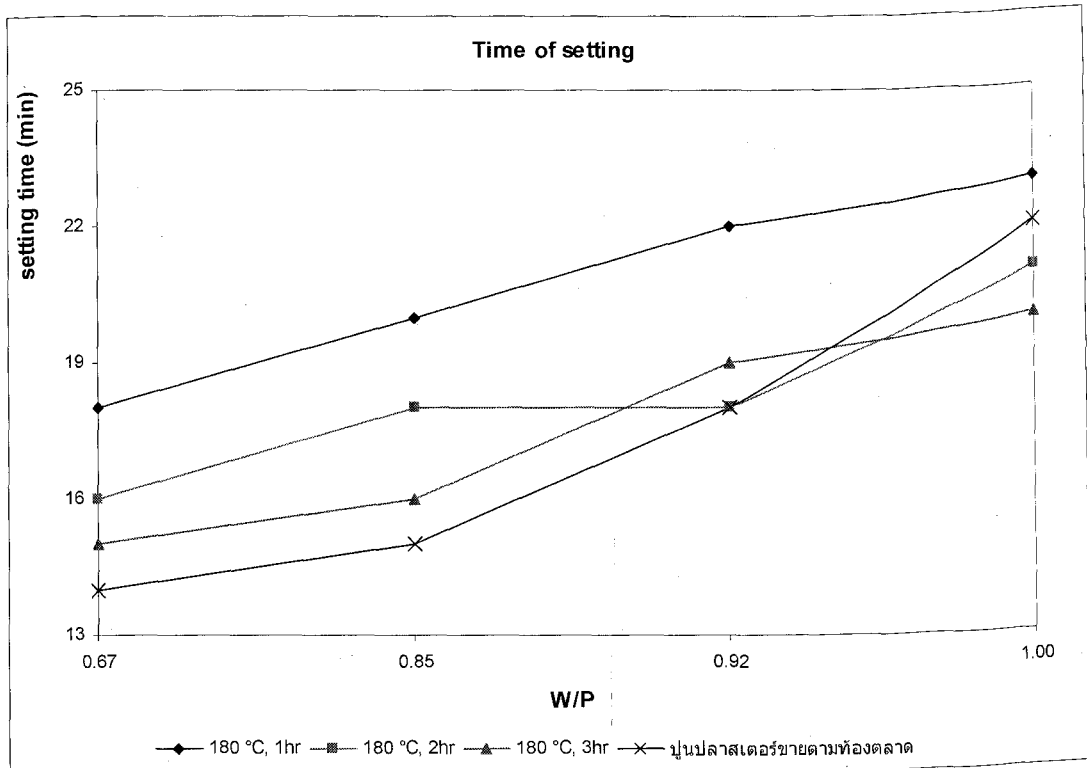


รูปที่ 3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับเวลาที่ใช้ในการก่อตัวของปูนปลาสเตอร์ของโรงงานที่เผาอุณหภูมิ 160°C และปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด

จากรูปที่ 3.15 จะเห็นได้ว่าเมื่อเผาิปซัมที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 3 ชม. จะมีระยะเวลาในการก่อตัวใกล้เคียงกันกับปูนปลาสเตอร์ที่มีขายตามท้องตลาด ส่วนเมื่อเผาิปซัมที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 1 ชม. จะมีการก่อตัวของปูนปลาสเตอร์ที่ช้ามากกว่าการเผาิปซัมที่เวลา 2 ชม. เมื่อดูที่ค่า W/P ที่แตกต่างกัน ในการใช้อัตราส่วนผสมของน้ำในการผสมมากปูนปลาสเตอร์ของโรงงานจะใช้เวลาในการก่อตัวนานขึ้นตามลำดับ

➤ ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 180°C

เมื่อนำิปซัมไปเผาที่อุณหภูมิ 180 °C แล้วนำมาขึ้นรูปปูนปลาสเตอร์โดยใช้อัตราส่วน W/P ได้แก่ 0.67, 0.85, 0.92 และ 1.00 ที่เวลาต่างๆ มาเปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ตามท้องตลาด ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับเวลาที่ใช้ในการก่อตัวของปูนปลาสเตอร์ของโรงงานที่เผาอุณหภูมิ 180°C และปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด

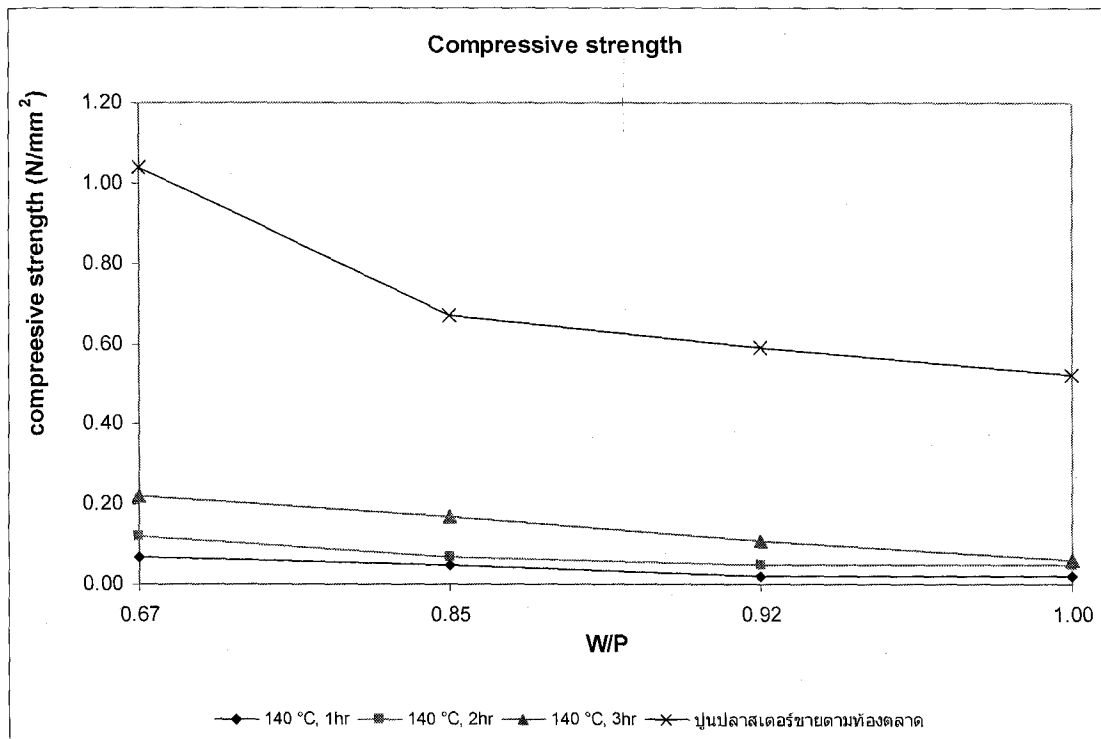
จากรูปที่ 3.16 จะเห็นได้ว่าเมื่อเผาปฐั้มที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 2 และ 3 ชม. จะมีระยะเวลาในการก่อตัวใกล้เคียงกันกับปูนปลาสเตอร์ที่มีขายตามท้องตลาด แต่ที่อุณหภูมิ 180,2°C hr จะมีการก่อตัวของปูนปลาสเตอร์ในอัตราส่วน P/W 0.92 ดีกว่าการเผาปฐั้มที่อุณหภูมิ 180°C,3 hr ส่วนเมื่อเผาปฐั้มที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 1 จะมีการก่อตัวของปูนปลาสเตอร์ที่ช้ามากกว่าการเผาปฐั้มที่เวลา 2 และ 3 ชม. เมื่อดูที่ค่า W/P ที่แตกต่างกัน ในการใช้อัตราส่วนผสมของน้ำในการผสมมากปูนปลาสเตอร์ของโรงงานจะใช้เวลาในการก่อตัวนานขึ้นตามลำดับ

3.5.3 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด (Compressive Strength)

การทดสอบความต้านทานแรงอัดของปูนปลาสเตอร์ทางโรงงานและเปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด โดยค่าที่ได้จากการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ข.3

➤ ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 140°C

ทำการทดลองความต้านทานแรงอัดของยิปซัมที่เผาอุณหภูมิ 140 °C ในอัตราส่วน W/P ได้แก่ 0.67, 0.85, 0.92 และ 1.00 ที่เวลาต่างๆ มาเปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ตามท้องตลาด โดยคิดต่อพื้นที่หน้าตัดตารางมิลลิเมตร วิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ Universal Test Machine (Instron training series 5569) ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.17



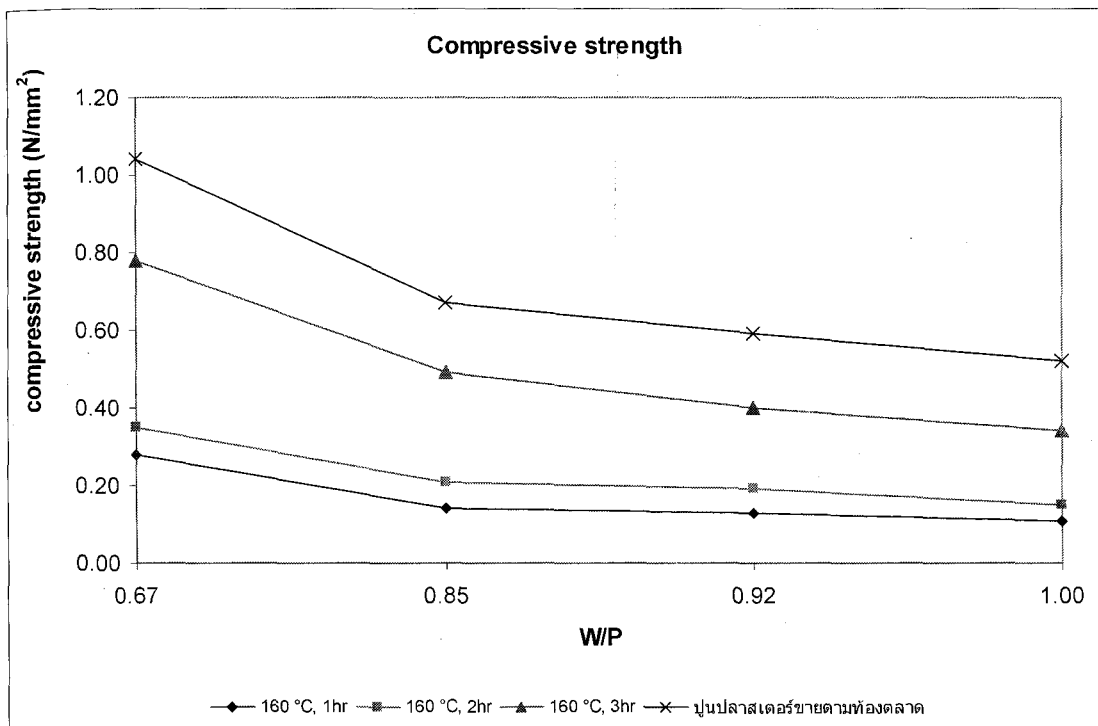
รูปที่ 3.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับค่าความต้านทานแรงอัดของปูนปลาสเตอร์โรงงานขนาด 46 x 65 x 32 มม. เผาอุณหภูมิ 140°C และปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด

จากรูปที่ 3.17 จะเห็นได้ว่ายิปซัมที่เผาอุณหภูมิ 140°C เวลา 1, 2 และ 3 ชม. นั้นมีความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานน้อยมากเมื่อเทียบกับความต้านทานแรงอัดของปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด และเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการเผาานมากขึ้น ค่าความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานปูนปลาสเตอร์จะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ในขณะที่ใช้เวลาในการเผาแตกต่างกัน แต่

อุณหภูมิในการเผามีค่าเท่ากัน อัตราส่วน W/P 0.67 จะมีค่าความต้านทานแรงอัดสูงกว่า W/P 1.00

➤ ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 160 °C

ทำการทดลองความต้านทานแรงอัดของยิปซัมที่เผาอุณหภูมิ 160 °C ในอัตราส่วน W/P ได้แก่ 0.67, 0.85, 0.92 และ 1.00 ที่เวลาต่างๆ มาเปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ตามท้องตลาด โดยคิดต่อพื้นที่หน้าตัดตารางมิลลิเมตร ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.18

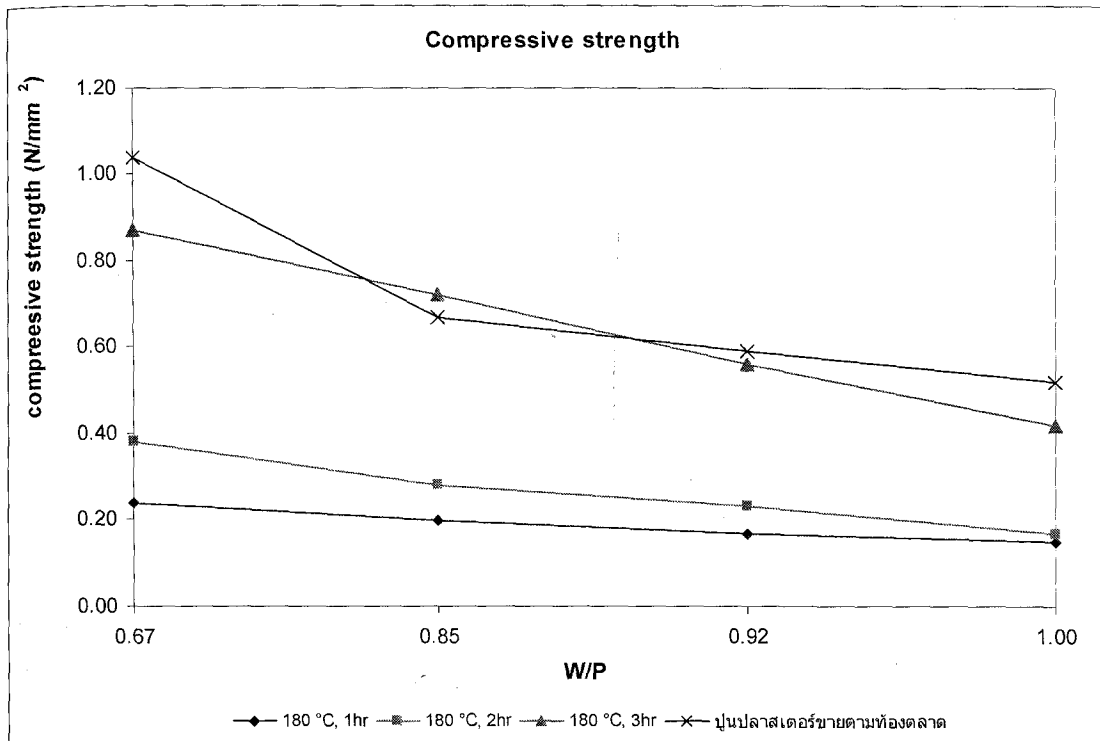


รูปที่ 3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับค่าความต้านทานแรงอัดของปูนปลาสเตอร์โรงงานขนาด 46 x 65 x 32 มม. เเผาอุณหภูมิ 160 °C และปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด

จากรูปที่ 3.18 จะเห็นได้ว่ายิปซัมที่เผาอุณหภูมิ 160 °C เวลา 1 และ 2 ชม. นั้นมีความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานน้อยมาก ส่วนยิปซัมที่เผาอุณหภูมิ 160 °C เวลา 3 ชม. มีค่าใกล้เคียงกับความต้านทานแรงอัดของปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด และเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการเผานานมากขึ้น ค่าความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานปูนปลาสเตอร์จะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ในขณะที่ใช้เวลาในการเผาแตกต่างกัน แต่อุณหภูมิในการเผามีค่าเท่ากัน อัตราส่วน W/P 0.67 จะมีค่าความต้านทานแรงอัดสูงกว่า W/P 1.00

➤ ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 180°C

ทำการทดสอบความต้านทานแรงอัดของยิปซัมที่เผาอุณหภูมิ 180 °C ในอัตราส่วน W/P ได้แก่ 0.67, 0.85, 0.92 และ 1.00 ที่เวลาต่างๆ มาเปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ตามท้องตลาด โดยคิดต่อพื้นที่หน้าตัดตารางมิลลิเมตร ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับค่าความต้านทานแรงอัดของปูนปลาสเตอร์โรงงานขนาด 46 x 65 x 32 มม. เผาอุณหภูมิ 180°C และปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด

จากรูปที่ 3.19 จะเห็นได้ว่ายิปซัมที่เผาอุณหภูมิ 180°C เวลา 1 และ 2 ชม. นั้นมีความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานน้อยและใกล้เคียงกัน ส่วนยิปซัมที่เผาอุณหภูมิ 180°C เวลา 3 ชม. มีค่าใกล้เคียงกับความต้านทานแรงอัดของปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาดมาก แต่ในอัตราส่วน W/P 0.85 ที่ 180°C, 3hr มีค่ามากกว่าปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาดอยู่เท่ากับ 0.72 N/mm² และเมื่อใช้เวลาในการเผาเพิ่มมากขึ้นความต้านทานแรงอัดของปูนปลาสเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ เช่นเดียวกันกับเมื่อผสมอัตราส่วนของ P/W โดยใช้น้ำในการผสมลดลง ปูนปลาสเตอร์ของทางโรงงานจะมีค่าความต้านทานแรงอัดเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน

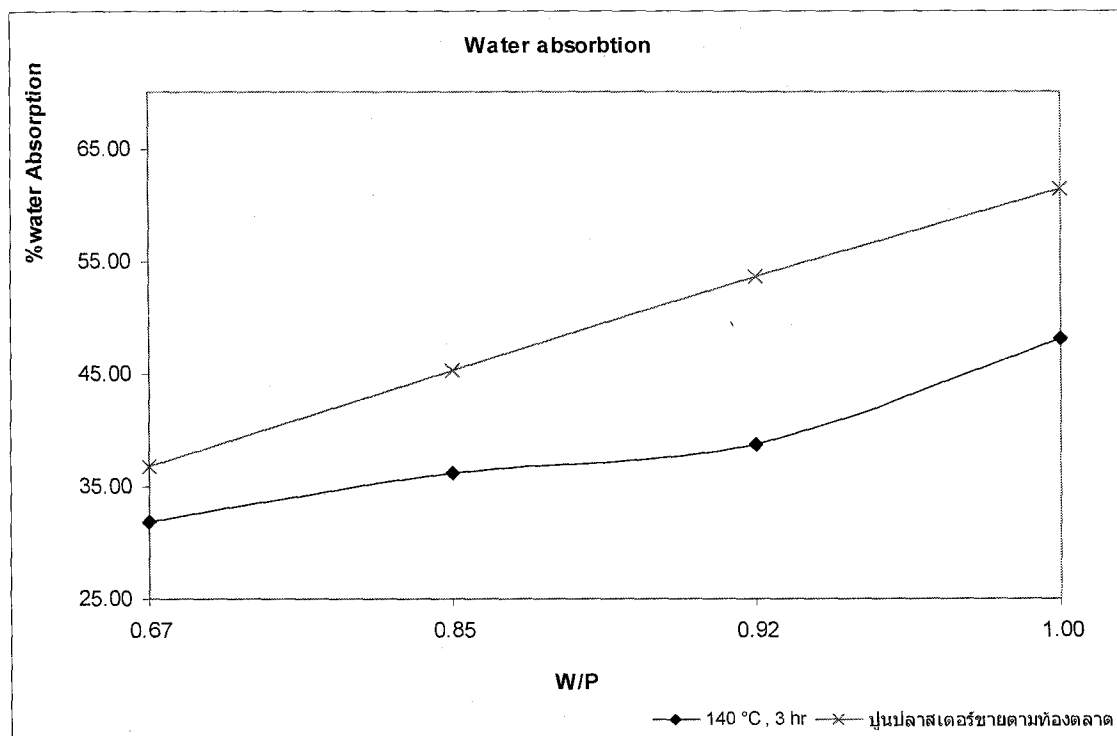
3.5.4 ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

ผลการทดสอบสมบัติด้านการดูดซึมน้ำของปูนปลาสเตอร์ของโรงงานและเปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด โดยใช้อัตราส่วนผสม W/P ที่แตกต่างกัน โดยค่าผลการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ข.3

$$\% \text{ water absorption} = \frac{\text{น้ำหนักที่เปลี่ยนไปหลังจากแช่ในน้ำกลั่น}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่ในน้ำกลั่น}} \times 100$$

➤ ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 140°C

ทำการทดลองอัตราการดูดซึมน้ำของยิปซัมที่เผาอุณหภูมิ 140 °C ในอัตราส่วนผสม W/P ได้แก่ 0.67, 0.85, 0.92 และ 1.00 ที่เวลาต่างๆ มาเปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ตามท้องตลาด ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.20

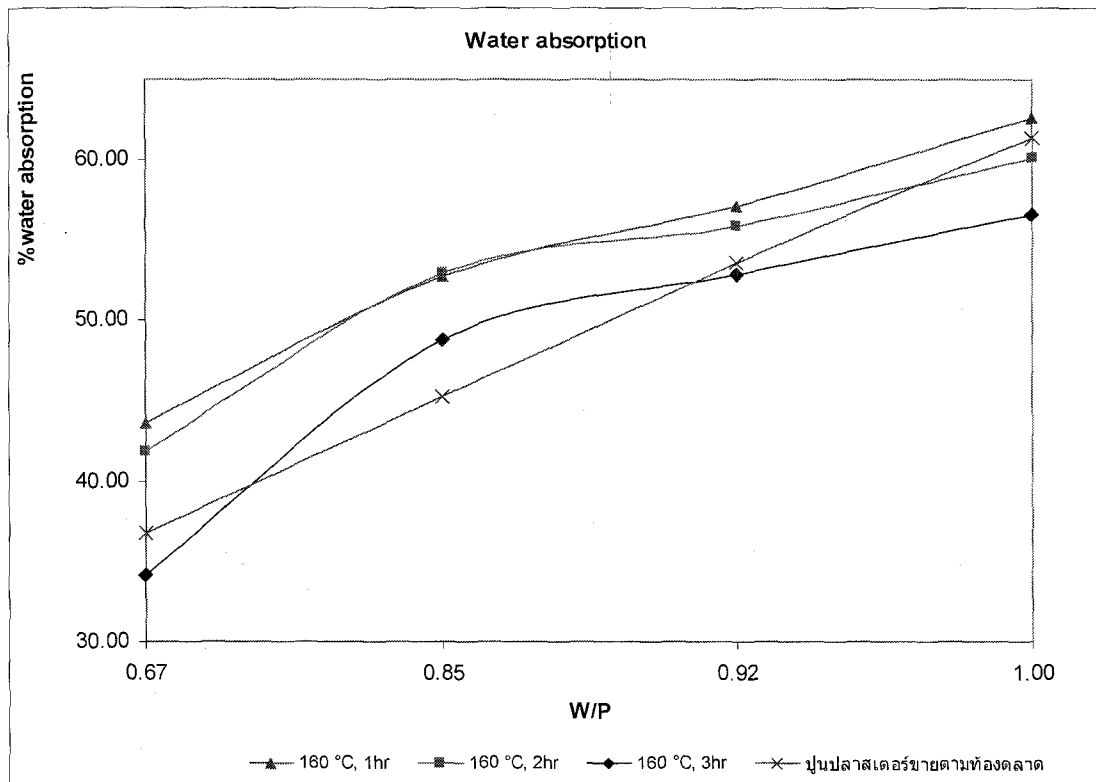


รูปที่ 3.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับค่าอัตราการดูดซึมน้ำของปูนปลาสเตอร์โรงงาน โดยเผาที่อุณหภูมิ 140°C และปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด

จากรูปที่ 3.20 จะเห็นได้ว่ามีแค่อุณหภูมิ 140°C ที่เผาเป็นเวลา 3 ชม. เท่านั้นเพราะที่อุณหภูมิ 140°C เวลา 1 และ 2 ชม. นั้นเมื่อนำไปแช่ลงในน้ำกลั่นผ่านไปเป็นระยะเวลา 12 ชม. ชิ้นงานปูนปลาสเตอร์ถูกน้ำดูดซึมไปหมดจนไม่เป็นรูปร่าง จึงไม่สามารถวิเคราะห์ค่าได้ และที่เผาอุณหภูมิ 140°C เวลา 3 ชม. มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำกว่าปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด

➤ ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 160°C

ทำการทดลองอัตราการดูดซึมน้ำของยิปซัมที่เผาอุณหภูมิ 160°C ในอัตราส่วน W/P ได้แก่ 0.67, 0.85, 0.92 และ 1.00 ที่เวลาต่างๆ มาเปรียบเทียบกับปูนปลาสเตอร์ตามท้องตลาด ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.21



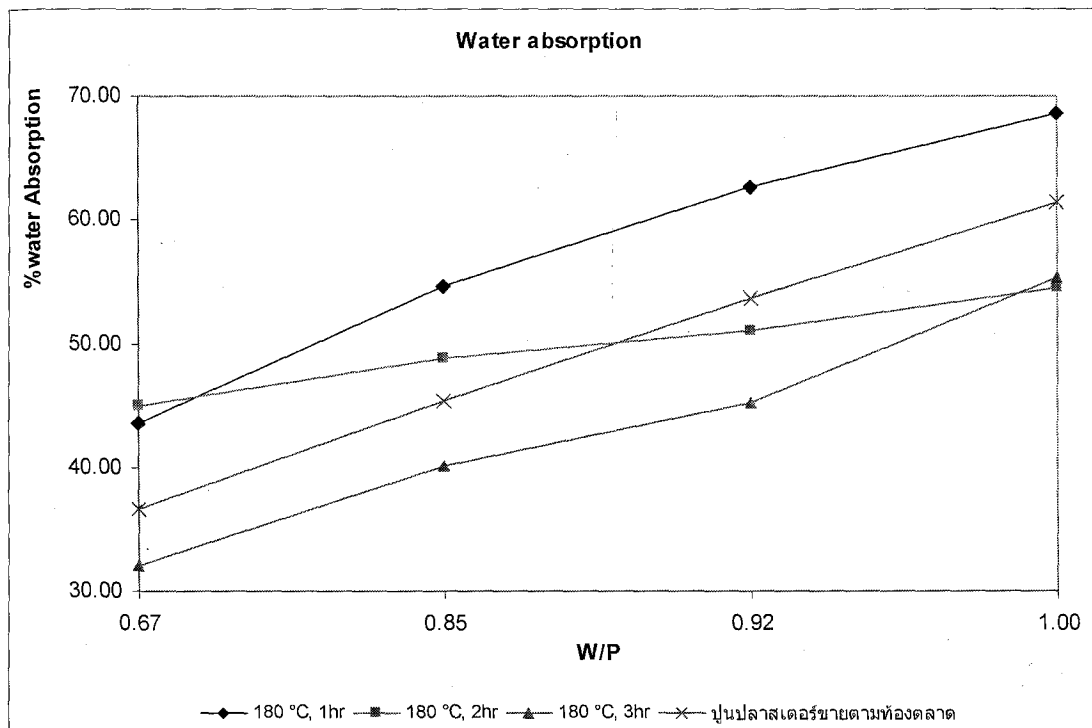
รูปที่ 3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับค่าอัตราการดูดซึมน้ำของปูนปลาสเตอร์โรงงาน โดยเผาที่อุณหภูมิ 160°C และปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด

จากรูปที่ 3.21 อัตราการดูดซึมน้ำของอุณหภูมิ 160°C , 1 hr มีค่าใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิ 160°C , 2 hr และที่อุณหภูมิ 160°C , 3 hr มีค่าอัตราการดูดซึมน้ำแตกต่างกันเล็กน้อยกับปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด แต่มีส่วนที่แตกต่างคือที่ W/P 0.85 มีอัตราดูดซึมน้ำสูงกว่าปูน

พลาสติกที่ขยายตามท้องตลาดอยู่เท่ากับ %water absorption 140.14 ซึ่งอัตราส่วน W/P เมื่อผสมปูนพลาสติกลงไปน้อยลงอัตราการดูดซึมน้ำก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

➤ ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 180°C

ทำการทดลองอัตราการดูดซึมน้ำของยิปซัมที่เผาอุณหภูมิ 180 °C ในอัตราส่วน W/P ได้แก่ 0.67, 0.85, 0.92 และ 1.00 ที่เวลาต่างๆ มาเปรียบเทียบกับปูนพลาสติกตามท้องตลาด ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/P กับค่าอัตราการดูดซึมน้ำของปูนพลาสติกโรงงาน โดยเผาที่อุณหภูมิ 180°C และปูนพลาสติกที่ขยายตามท้องตลาด

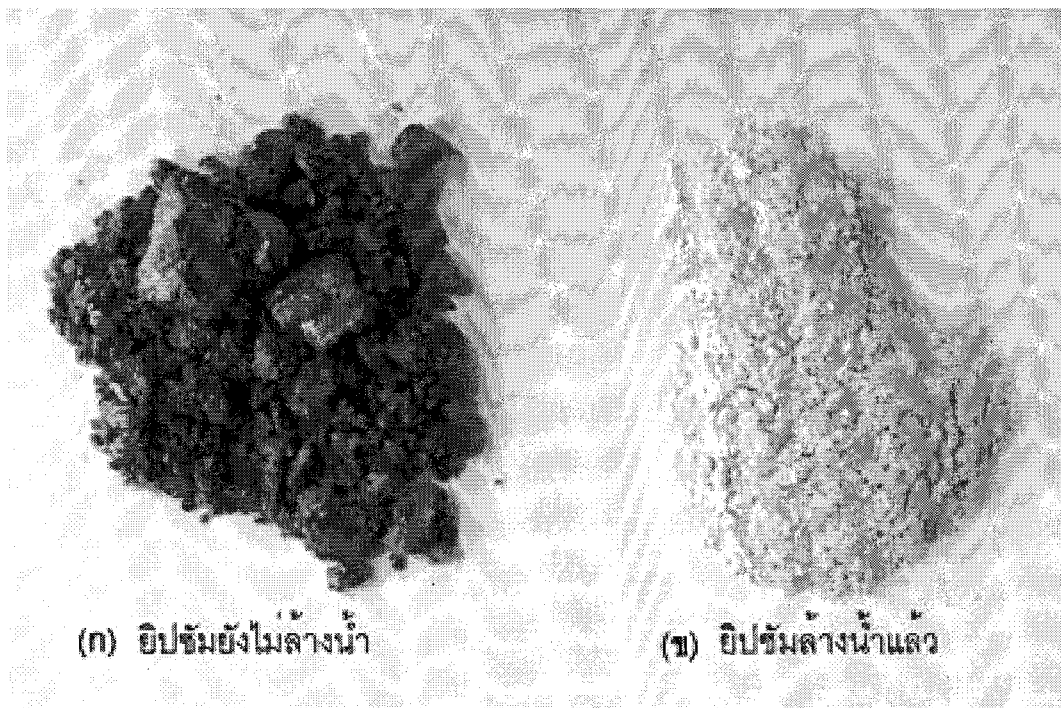
จากรูปที่ 3.22 จะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซึมน้ำของอุณหภูมิ 180°C, 1 hr มีค่าสูงมากกว่าตัวอื่น และที่อุณหภูมิ 180°C, 3 hr มีค่าอัตราการดูดซึมน้ำน้อยกว่าเล็กน้อยกับปูนพลาสติกที่ขยายตามท้องตลาด และที่อุณหภูมิ 180°C, 2 hr อัตราส่วน W/P 0.92 มีค่าอัตราการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกับปูนพลาสติกตามท้องตลาดเท่ากับ %water absorption 151.04 และที่อุณหภูมิ 180°C, 2 hr และ 3 hr อัตราส่วน W/P 1.00 มีค่าอัตราการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน เมื่อผสมปูนพลาสติกลงไปน้อยลงอัตราการดูดซึมน้ำก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

3.5.5 วิเคราะห์ความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมต่างๆ ในการผลิตปูนปลาสเตอร์ของโรงงานที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน วิเคราะห์ได้ว่าจากการทดสอบสมบัติของชิ้นงานปูนปลาสเตอร์เมื่อใช้เวลาในการเผามากขึ้น จะมีผลต่อความต้านทานแรงอัดและระยะเวลาในการก่อตัวของปูนปลาสเตอร์ และมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานได้ดีด้วย โดยตามคุณลักษณะทางฟิสิกส์ตามมาตรฐาน มอก. 188 – 2547 มีการทดสอบค่าระยะเวลาการก่อตัว, ความต้านแรงอัด และความต้านแรงดัด แต่เนื่องจากปูนปลาสเตอร์สามารถเลือกการทดสอบความต้านแรงอัดหรือความต้านแรงดัดได้อย่างใดอย่างหนึ่งได้ จึงได้ทดสอบเฉพาะความต้านแรงอัดเท่านั้น โดยแสดงคุณลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของปูนปลาสเตอร์ไว้ในภาคผนวก ข.4

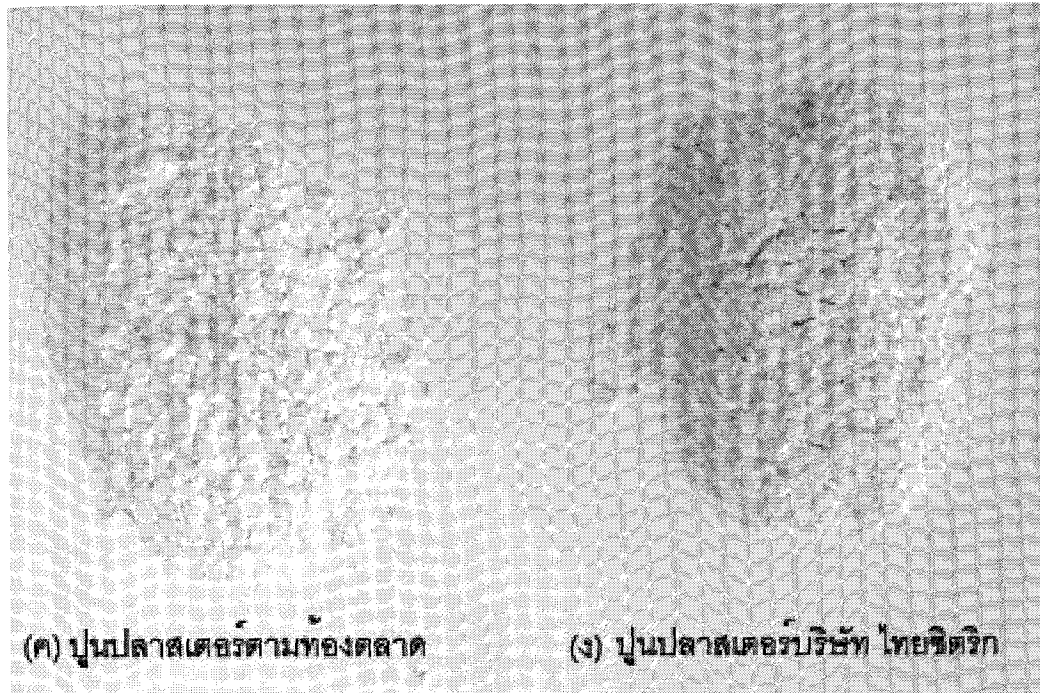
ผลการทดสอบการใช้งานโดยนำปูนปลาสเตอร์ที่ผลิตได้ไปทดสอบมีดังนี้

- ปูนปลาสเตอร์เมื่อยังไม่ทำการล้างจะมีลักษณะสีดำ-เทา ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน การใช้น้ำล้างสีที่ติดกับยิปซัมก่อนนั้นจะสามารถช่วยให้สีของยิปซัมมีลักษณะที่ขาวขึ้น และมีความเหมาะสมไปใช้งานได้ดีขึ้นด้วย แต่ต้องเปลี่ยนทรัพยากรน้ำในการล้างเพิ่มขึ้นด้วย โดยเปรียบเทียบสีของยิปซัมหลังจากกระบวนการผลิตที่ยังไม่ได้ล้างน้ำ และยิปซัมที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำแล้ว ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ลักษณะสียิปซัมจากกระบวนการผลิต (ก) ยิปซัมที่ยังไม่ผ่านการล้างน้ำ (ข) ยิปซัมที่ผ่านการล้างน้ำแล้ว

- ปูนปลาสเตอร์ที่ได้เผาอุณหภูมิต่ำ และใช้เวลาในการเผา น้อย เมื่อนำขึ้นรูปจะใช้เวลาในการก่อตัวนาน และมีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำ
- ลักษณะของยิปซั่มเมื่อผ่านการล้างน้ำและนำมาเผาที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีลักษณะสีใกล้เคียงกับปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด คือมีลักษณะสีค่อนข้างขาว แต่ยังมีผงคาร์บอนซึ่งเป็นเม็ดเล็กๆ ปะปนอยู่เล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 3.24 การเปรียบเทียบลักษณะของสีปูนปลาสเตอร์ตามท้องตลาด และปูนปลาสเตอร์ทางบริษัทที่ได้ผ่านการล้างและเผาแล้ว



รูปที่ 3.24 ลักษณะสีปูนปลาสเตอร์ (ค) ปูนปลาสเตอร์ตามท้องตลาด และ (ง) ปูนปลาสเตอร์จากบริษัท ไทยชิตริก แอชิต จำกัด

- ปูนปลาสเตอร์ที่ได้เผาอุณหภูมิต่ำมีรูพรุน ดูดซึมน้ำได้มาก และมีค่าความต้านทานแรงกดอัดน้อย เนื่องจากมีผงคาร์บอนยังคงค้างติดอยู่ในเนื้อยิปซั่มเป็นผลให้คาร์บอนดูดซับน้ำเอาไว้และยังทำให้เกิดโพรงช่องว่างระหว่างเนื้อปูนปลาสเตอร์เพิ่มขึ้น
- ปูนปลาสเตอร์ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิสูงจะมีสมบัติของปูนปลาสเตอร์ดีกว่าที่เผาอุณหภูมิต่ำ และมีสมบัติใกล้เคียงกับปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด
- ปูนปลาสเตอร์ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 2 ชม. และ 3 ชม. เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นปูนปลาสเตอร์ที่นำไปใช้งาน เพราะมีค่าความต้านทานแรงอัดใกล้เคียงกับปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด

- ยิปซัมที่มีความชื้นอยู่มากต้องใช้พลังงานความร้อนในการเผามากขึ้นตามลำดับ
- ในการศึกษาอุณหภูมิในการเผายิปซัมต้องใช้อุณหภูมิมากกว่า 180 °C ขึ้นไปหากนำไปศึกษาการผลิตปูนปลาสเตอร์การใช้อุณหภูมิเผาต้องมากกว่า 180 °C ถึงจะสามารถนำไปใช้งานได้ดี แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับ %ความชื้นในยิปซัมตั้งแต่เริ่มแรกก่อนว่าเหมาะสมกับการใช้ อุณหภูมิห้องศาลเซลเซียล

3.5.6 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

การผลิตปูนปลาสเตอร์สามารถนำมาคำนวณความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนก่อสร้างกระบวนการผลิตปูนปลาสเตอร์ของทางโรงงาน ซึ่งในการคำนวณการลงทุนนี้ เป็นข้อมูลเบื้องต้นและเป็นแนวทางในการคำนวณความน่าจะเป็น โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.3, 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ และได้แสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข.1 และ ข.2

ตารางที่ 3.3 คำนวณค่าใช้จ่ายเครื่องจักรและอุปกรณ์

รายการ	จำนวน (ชุด)	ราคา (บาท)
1. ถัง Aerator	2	9,400,000
2. เครื่อง drying (Belt Filter)	1	7,100,000
3. ถังตกตะกอน	2	500,000
4. Calcining	1	10,000,000
5. Ball mill	1	1,200,000
6. Packing	1	950,000
รวม		29,150,000

ตารางที่ 3.4 คำนวณค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า

รายการ	บาท/ปี
1. ระบบการล้างยิปซัม	100,000
2. ระบบทำให้แห้ง	12,000,000
3. ระบบเผาไอน้ำ	11,142,196
4. ระบบบดละเอียด	80,000
5. ระบบบรรจุ	300,000
รวม	23,622,196

ตารางที่ 3.5 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

รายการ	บาท/ปี
1. ค่าไฟฟ้า	23,622,196
2. ค่าน้ำ	27,411,754
3. ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร (3%)	990,000
4. ค่าจ้างพนักงาน	627,000
รวม	52,650,950

ดังนั้น สามารถสรุปค่าใช้จ่ายในการลงทุนอุตสาหกรรมปูนปลาสเตอร์ ได้ดังนี้

กำไรสุทธิ

$$52,650,950 - 28,780,012 = 23,870,938 \text{ บาท/ปี}$$

ระยะเวลาคืนทุน

$$\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน} / \text{กำไรสุทธิ} = \text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)}$$

$$\therefore 29,150,000 / 23,870,938 = 1.22 \text{ ปี}$$

เมื่อนำมาศึกษาการลงทุนการผลิตปูนปลาสเตอร์จะสามารถช่วยลดการกักของเสียที่เกิดขึ้นได้ถึงวันละ 13 ตัน/วัน โดยการศึกษาอุตสาหกรรมผลิตและจำหน่ายปูนปลาสเตอร์ เมื่อคิดการประมาณราคาเครื่องจักร การก่อสร้างและราคาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากท้องตลาดมาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนต้นทุนและกำไรสุทธิแล้ว สามารถที่จะคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 1.22 ปี และยังเป็น การกำจัดกากของเสียจากกระบวนการผลิตได้อีกด้วย

3.6 สรุปผลการดำเนินโครงการ

จากการศึกษาการนำกากของเสียยิปซัมมาผลิตเป็นปูนปลาสเตอร์นั้น โดยเบื้องต้นยิปซัมจากกระบวนการผลิตมีลักษณะเป็นสีเทา-ดำ และมีถ่านคาร์บอนติดอยู่ที่เนื้อยิปซัม จึงต้องนำไปล้างน้ำก่อนให้ยิปซัมของทางบริษัทมีลักษณะสีขาว หากนำไปลงทุนอุตสาหกรรมปูนปลาสเตอร์นั้น ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำให้ยิปซัมมีความขาวมากขึ้น และเมื่อนำไปขึ้นรูปที่อุณหภูมิและเวลาในการเผาแตกต่างกัน จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ลักษณะยิปซัมของทางบริษัทมีความสามารถไปใช้งานได้ แต่ยังไม่ดีประสิทธิภาพพอ เพราะยังมีสารปนเปื้อนติดอยู่นั่นคือ ถ่านคาร์บอน ส่งผลให้เวลาการนำไปขึ้นรูปเกิดโพรงช่องว่างของอากาศระหว่างเนื้อยิปซัม มีลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปูนปลาสเตอร์คือ

น้ำที่ใช้ผสม : ปูนปลาสเตอร์ คือ	67 : 100	ลูกบาศก์เซนติเมตร:กรัม
อุณหภูมิ	180	องศาเซลเซียส
เวลาการเผา	3	ชั่วโมง

การนำปูนปลาสเตอร์มาเป็นผลิตภัณฑ์ คุณสมบัติมีความใกล้เคียงกับปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด โดยจะเห็นได้ว่าปูนปลาสเตอร์ที่เผาอุณหภูมิสูง ความต้านทานแรงกดอัดมาก อัตราการดูดซึมน้ำของปูนปลาสเตอร์จะน้อย รูปพรุนน้อย ซึ่งแตกต่างกับปูนปลาสเตอร์ที่เผาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะมีรูปพรุนมาก มีค่าความแข็งแรงต่ำ ดูดซึมน้ำมาก

การศึกษาอุตสาหกรรมผลิตและจำหน่ายปูนปลาสเตอร์ จะช่วยให้สถานประกอบการมีกำไร 23.9 ล้านบาท/ปี และสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 1.22 ปี ซึ่งถือเป็นการลดของเสียในกระบวนการผลิตสามารถทำให้ลดค่าใช้จ่าย และยังส่งผลให้มีกำไรและส่งเสริมรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

3.7 ข้อเสนอแนะสำหรับโครงการในอนาคต

1) การพัฒนาการผลิตปูนปลาสเตอร์จากกากของเสียขี้ปี้

สืบเนื่องมาจากการศึกษาทดลองผลิตปูนปลาสเตอร์นั้น การทดลองวิเคราะห์ค่าต่างๆ ยังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน เพราะเป็นเพียงการวิเคราะห์คุณสมบัติทางฟิสิกส์เท่านั้น จึงควรที่จะศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางเคมีของปูนปลาสเตอร์เพิ่มเติมในโครงการอนาคตข้างหน้า เพื่อให้ทราบคุณสมบัติขี้ปี้ของทางบริษัทมากยิ่งขึ้น

2) การใช้ประโยชน์จากกากตะกอน (Excess Sludge) ระบบบำบัดน้ำเสียมีบ่อรองรับตะกอน หากนำตะกอนที่อยู่ในบ่อมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าการนำไปทิ้งจะสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับกากตะกอนได้

บทที่ 4

สรุปผลการปฏิบัติงาน

3.1 สรุปผลการปฏิบัติงาน

จากการออกปฏิบัติงานสหกิจศึกษาที่บริษัท ไทยซีตริก แอซิด ซึ่งเป็นบริษัทผลิตและและจำหน่ายกรดมะนาว นำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเครื่องดื่มและอาหาร , อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง ทำให้ได้นำความรู้จากที่เรียนมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสถานประกอบการแล้ว ยังช่วยสร้างประสบการณ์ในการทำงานเพิ่มมากขึ้น ดังนี้

4.1.1 ด้านกระบวนการผลิตกรดมะนาว

ศึกษาขั้นตอนการผลิตกรดมะนาวตั้งแต่วัตถุดิบจนเป็นผลิตภัณฑ์ และทำให้มีความรู้และเข้าใจปัญหาของกระบวนการผลิต และแสดงผลการประเมินผลกระทบบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นจากการผลิตกรดมะนาวออกมา

4.1.2 ด้านระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ

สามารถช่วยดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย UASB และปฏิบัติงานซึ่งต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพและการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียประจำ เก็บตัวอย่างน้ำเสียไปวิเคราะห์และคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่า COD, pH, Alk, SS และ SV_{30} ที่จำเป็นต่อการเดินระบบ

4.1.3 ด้านการซื้อขายคาร์บอนเครดิต

สถานประกอบการให้ศึกษาการซื้อขายคาร์บอนเครดิตที่เป็นผลพลอยได้มาจากระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ และก๊าซชีวภาพที่ได้นี้ สามารถเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในบริษัทได้ หลังจากศึกษาแล้วสามารถสรุปได้ว่า บริษัทนั้นสามารถเข้าสู่โครงการCDM ขนาดเล็กได้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกลไกการพัฒนาที่สะอาด เบื้องต้นได้ศึกษาขั้นตอนการออกแบบโครงการ (PDD) เท่านั้นแต่ยังมีเอกสารเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องอยู่อีกมากมาย ที่ทางบริษัทต้องพิจารณาหากต้องการที่จะเข้าสู่โครงการ CDM จริง

4.1.4 ด้านการนำของเสีย(ยิปซัม)จากกระบวนการผลิตไปเป็นปูนปลาสเตอร์

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นสรุปได้ว่า ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ทางบริษัท ยังไม่มีการจัดการที่ดี คือ ยิปซัม จึงได้มีการศึกษาโครงการการผลิตปูนปลาสเตอร์จากกากของเสีย ยิปซัม ควบคู่กับการใช้เทคโนโลยีสะอาดเข้ามาช่วยในการจัดการกากของเสียโดยแปรรูปไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ การศึกษาการลงทุนอุตสาหกรรมผลิตปูนปลาสเตอร์ หากมีการทำอุตสาหกรรมการผลิตปูนปลาสเตอร์จำหน่ายจะช่วยทำให้สถานประกอบมีกำไร 23.9 ล้านบาท/ปี และสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 1.22 ปี ซึ่งถือเป็นการลดของเสียในกระบวนการผลิตสามารถทำให้ลดค่าใช้จ่าย และยังส่งผลให้มีกำไรและส่งเสริมรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานตั้งแต่นำยิปซัมมาล้างน้ำที่มีสีดำของคาร์บอนออกเสียก่อนและหาค่าความชื้น ประมาณการเทียบหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการเผา ยิปซัม โดยอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณจะเป็นค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการศึกษาและทดลองผลิตปูนปลาสเตอร์ ซึ่งอุณหภูมิเริ่มต้นที่ได้จะ $\pm 20^{\circ}\text{C}$ และใช้เวลาในการเผา 1 ชม., 2 ชม., และ 3 ชม. แล้วจึงนำไปขึ้นรูปในอัตราส่วนปูนปลาสเตอร์ต่อน้ำ (W/P ; g/100g) ขนาด 46 x 65 x 32 มม. และทำตัวอย่างละ 3 ชิ้น ทำการศึกษาคุณลักษณะทางฟิสิกส์ ได้แก่ด้าน ระยะเวลาการก่อตัว , ความต้านทานแรงอัด และอัตราการดูดซึมน้ำ ผลปรากฏว่าลักษณะยิปซัมของทางบริษัทมีความสามารถไปใช้งานได้ แต่ยังไม่มีประสิทธิภาพพอ เพราะยังมีสารปนเปื้อนติดอยู่นั่นคือ ผงคาร์บอน ส่งผลให้เวลาการนำไปขึ้นรูปเกิดโพรงช่องว่างของอากาศระหว่างเนื้อยิปซัม มีลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปูนปลาสเตอร์ คือ

น้ำที่ใช้ผสม : ปูนปลาสเตอร์ คือ	67 : 100	ลูกบาศก์เซนติเมตร:กรัม
อุณหภูมิ	180	องศาเซลเซียส
เวลาการเผา	3	ชั่วโมง

คุณสมบัติของปูนปลาสเตอร์ของทางบริษัทมีความใกล้เคียงกับปูนปลาสเตอร์ที่ขายตามท้องตลาด โดยจะเห็นได้ว่าปูนปลาสเตอร์ที่เผาอุณหภูมิสูง ความต้านทานแรงกดอัดจะมาก อัตราการดูดซึมน้ำของปูนปลาสเตอร์จะน้อย รูพรุนน้อย ซึ่งแตกต่างกับปูนปลาสเตอร์ที่เผาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะมีรูพรุนมาก มีค่าความแข็งแรงต่ำ ดูดซึมน้ำมาก

4.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

4.2.1 ปัญหา

- 1) การเตรียมตัวอย่างยิปซัมต้องใช้เวลาค่อนข้างนานเนื่องจากตัวอย่างมีลักษณะเป็นสีดำ-เทา จึงต้องล้างน้ำให้มีลักษณะออกสีขาวก่อนจะนำไปขึ้นรูปตัวอย่าง
- 2) ยิปซัมมีลักษณะยังไม่ละเอียดพอต่อการนำไปขึ้นรูป จึงต้องนำมาร่อนผ่านตะแกรงเสียก่อน และนำไปบด แต่ทางบริษัทยังไม่มีเครื่องที่พร้อมต่อการศึกษา
- 3) ลักษณะของเตาเผามีความจุได้ไม่มากพอ จึงทำให้สามารถทดลองเผายิปซัมได้ครั้งละน้อย เพราะเมื่อเผาแล้วตัวอย่างยิปซัมจะยังมีน้ำในผลึกไม่สม่ำเสมอทั้งน้ำจึงไม่สามารถระเหยออกไปได้หมด
- 4) สิ่งแวดล้อมของทางโรงงานยังมีการก่อสร้างซ่อมแซมและต่อเติมอยู่ จึงเกิดมลพิษทางฝุ่น และทางเสียง ซึ่งอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุและไม่มีความสะดวกต่อการใช้พื้นที่ในบริเวณนั้น

4.2.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) บริษัทยังไม่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่พร้อมต่อการศึกษาโครงการกากของเสียยิปซัม ไปเป็นปูนปลาสเตอร์ ซึ่งหากมีเครื่องมือที่พร้อมและเหมาะสมการวิเคราะห์ทดสอบของปูนปลาสเตอร์จะเป็นไปได้ง่ายขึ้น
- 2) ยิปซัมนอกจากจะทำเป็นปูนปลาสเตอร์ได้แล้ว อาจศึกษาการทดลองนำยิปซัมไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นได้ อย่างเช่น การทำชอล์ก หัวไม้ขีด ยิปซัมบอร์ด ผสมซีเมนต์ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

Plaster of Paris. in Industrail chemicals handbook. Edited by Small Business Publication
(India). Board of Consultants and Engineers. Delhi: SBP,1980,p.173-176.

Gypsum plasters.in Encyclopedia of chemical processing and design.Vol.25 New York :
Marcel Dekker,1987, p.116-127.

นวลอนงค์ ศรีพงษ์ และ มณฑนา พงษ์ไทยพัฒน์. แร่ยิปซัมและเทคโนโลยีการผลิตปูนปลาสเตอร์.

วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 41 ฉบับที่ 129 (พฤษภาคม 2535) 33-34

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม ชุดการ
รีไซเคิลทรัพยากร เล่ม2 :Atsuhiko Honda. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท ,2548

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. หลักการปฏิบัติเพื่อป้องกันมลพิษ

(เทคโนโลยีสะอาด) สำหรับอุตสาหกรรม สำนักพิมพ์ ส.ส.ท, 2545

จาก website :

The Story of Plaster Production. เข้าถึงได้จาก

[http:// www.plastermaster.com/plasterpower/plasterpower2.htm](http://www.plastermaster.com/plasterpower/plasterpower2.htm)

สรุปคดี วิทยาศาสตร์สกุล. ปูนปลาสเตอร์ เข้าถึงได้จาก

<http://www.material.chula.ac.th/Radio47/September/radio9-3.htm>

ssociation of Lifecasters International. A Brief History of Plaster and Gypsum เข้าถึงได้

จาก http://www.artmolds.com/ali/history_plaster.html

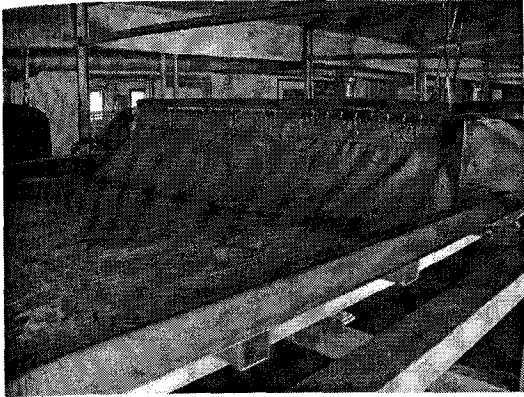
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

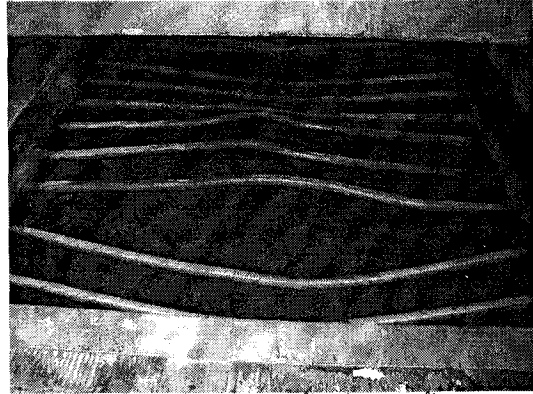
- ก.1 ภาพถ่ายจากกระบวนการผลิตกรดซิตริก
- ก.2 ภาพถ่ายระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ
- ก.3 ภาพถ่ายการทดสอบปูนปลาสเตอร์

ภาคผนวก ก.

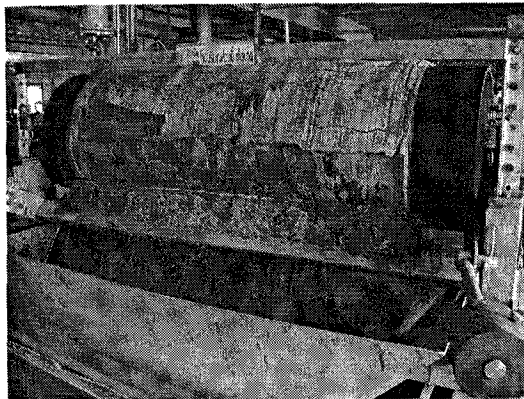
ก.1 ภาพถ่ายการเกิดกากของเสียยิปซัมของบริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด



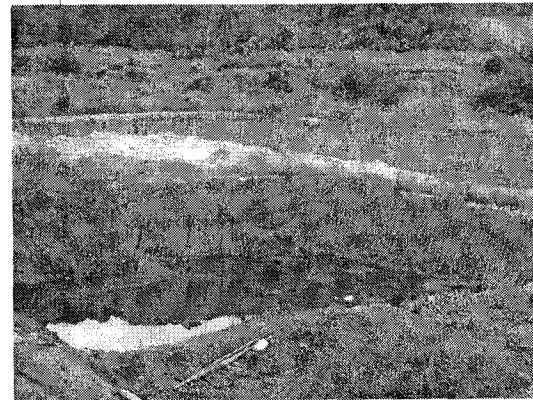
รูปที่ ก.1-1 การล้างกรดออกจากยิปซัมบน Belt Filter



รูปที่ ก.1-3 บ่อผสมยิปซัมกับน้ำเพื่อส่งไปทิ้งลงบ่อ

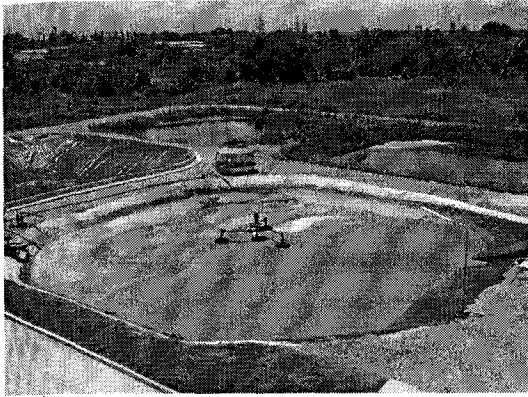


รูปที่ ก.1-2 กากของเสียยิปซัมหลังจากล้างกรดออก



รูปที่ ก.1-4 สถานที่ทิ้งยิปซัม

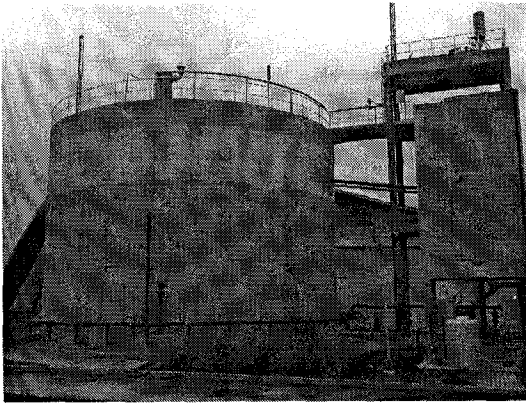
ก.2 ภาพถ่ายระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ



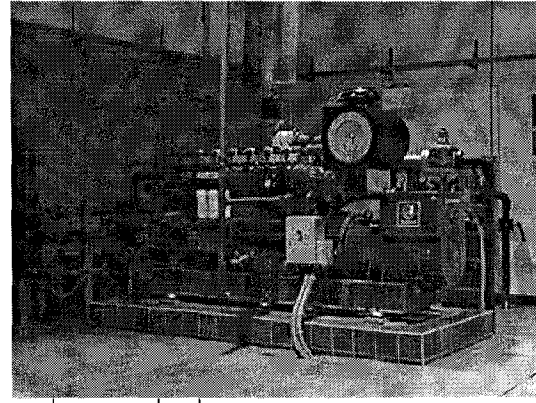
รูปที่ ก.2-1 บ่อ Equalization pond



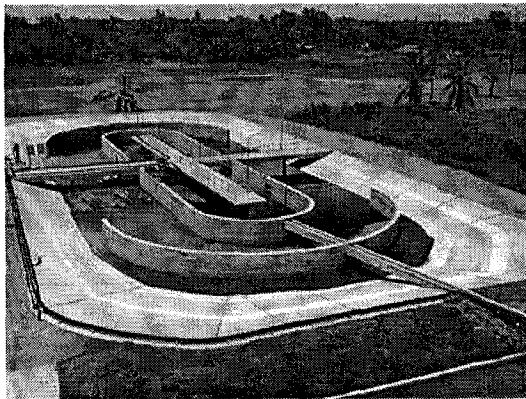
รูปที่ ก.2-4 บ่อเก็บแก๊ส



รูปที่ ก.2-2 ถัง recycle และ ถัง UASB

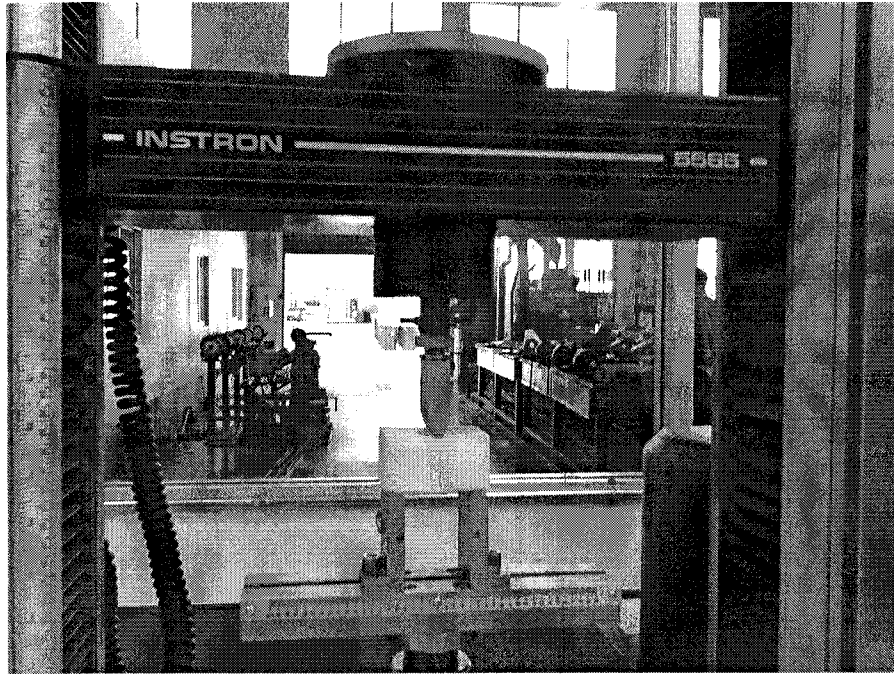


รูปที่ ก.2-5 เครื่องปั่นไฟ



รูปที่ ก.2-3 ถัง DN/CN

ก.3 การทดสอบปูนปลาสเตอร์



รูปที่ ก.3-1 การทดสอบการรับแรงกดอัด ด้วยเครื่องมือ Universal Test Machine (Instron training series 5569)



รูปที่ ก.3-2 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของปูนปลาสเตอร์

ภาคผนวก ข.

- ข.1 จำนวนในกระบวนการผลิตการลงทุนอุตสาหกรรมปิโตรพลาสติกเตอร์
- ข.2 จำนวนการลงทุนและระยะเวลาคืนทุน
- ข.3 แสดงข้อมูลจากการทดสอบปิโตรพลาสติกเตอร์
- ข.4 มาตรฐาน มอก. 188 - 2547

ข.1 คำนวณในกระบวนการผลิตการลงทุนอุตสาหกรรมปูนปลาสเตอร์

ข้อมูลเบื้องต้น

อัตราการเกิดยิปซัม	13	ตัน/วัน
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ΔH มีค่าเท่ากับ	-2,023	kJ/mol
$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ΔH มีค่าเท่ากับ	-1,577	kJ/mol

อ้างอิงจาก : บริษัทไทยซีเมนต์ แอซีด จำกัด

1. ระบบการล้างยิปซัม

ถัง Reactor

ความถ่วงจำเพาะของยิปซัมมีค่า	2.4	กรัมต่อลิตร
ยิปซัมเกิดจากกระบวนการผลิต	13000	กก./วัน
ป้อนยิปซัมเข้าสู่ระบบ 24 ชั่วโมง	542	กก./ชม.

ล้างชั้นที่ 1

ยิปซัมจาก screw conveyor	542	กก./ชม.
ต้องเปิดน้ำล้าง	542/0.0024	
ใน 1 ชั่วโมงต้องใช้น้ำล้างยิปซัม	226	ลบ.ม./ชม.

ล้างชั้นที่ 2

ยิปซัมผ่านจากถัง 1 สู่อ่างที่ 2	226	ลบ.ม./ชม.
เปิดน้ำล้างเพิ่ม	300	ลบ.ม./ชม.
ปริมาตรทั้งหมด 226 + 300 เท่ากับ	526	ลบ.ม./ชม.

อัตราการไหลเข้าสู่ระบบ	226	ลบ.ม/ชม.
แบ่งถัง reactor ออกเป็นจำนวน	2	ถัง
ปริมาตรที่ยิปซัมไหลเข้าแต่ละถัง	113	ลบ.ม/ชม.
ต้องการปริมาตรของถัง	4	ลบ.ม.
เลือกขนาดความลึกในถังเท่ากับ	4	ม.
ขนาดของถังผสมเร็วเท่ากับ $ก \times ข \times ล$	$1 \times 1 \times 4$	ลบ.ม
หาระยะเวลากักเก็บ	$(4 \times 3,600) / 113$	
∴ ระยะเวลากักเก็บจริงเท่ากับ	127.43	วินาที

ปริมาตรการใช้น้ำในการล้าง	226 + 300	ลบ.ม.
---------------------------	-----------	-------

ใช้น้ำไปทั้งหมด	526	ลบ.ม/ชม.
ค่าน้ำคิดเป็น	6.58	บาท/ลบ.ม.
∴ ค่าน้ำในหนึ่งปีเท่ากับ	27,411,754	บาท/ปี
<u>การสูญเสียจากการล้าง 5%</u>		
สูญเสียยิปซัมใน 1 วันเท่ากับ	13,000*0.05	
∴ เหลือยิปซัมจากการล้าง	12,350	กก./วัน
ถังตกตะกอน		
อัตราการไหลเท่ากับ	526	ลบ.ม/ชม.
ใช้ 2 ถัง ดังนั้นอัตราการไหลแต่ละถังเท่ากับ	6,312	ลบ.ม./วัน
พท. หน้าตัดของแต่ละถังเท่ากับ	Q/อัตราน้ำล้น	
กำหนดอัตราน้ำล้นเท่ากับ 40 m ³ /m ² .d	6,312/40	
∴ พท. หน้าตัดเท่ากับ	158	m ²
สำหรับถังสี่เหลี่ยม W:L (1:4)		
พท. หน้าตัด	4X ² = 158	m ²
ความกว้างถังเท่ากับ	6.28	เมตร
ความยาวของถังเท่ากับ	25.12	เมตร
เลือกความลึกของน้ำเท่ากับ	3.5	เมตร
ปริมาตรน้ำในถัง	3.5*25.12*6.28	
	552.14	ลบ.ม.
เวลาเก็บกักน้ำ 552.14/6,312	2.09	ชม.

2. ระบบทำให้แห้ง

เครื่อง Rotary Dryer

เกิดยิปซัมวันละ 13 ตัน/วัน

ยิปซัมจากถัง reactor มี 40% wet of gypsum

นั่นหมายถึง มีน้ำหนัก 4 กรัม และมียิปซัมหนัก 6 กรัม

ใน 1 ตัน มียิปซัม 1000 กก. มีความชื้น 400 กก.

ถ้ายิปซัม 12,350 กก. มีความชื้น 4,940กก.

เหลือยิปซัม 12,350 – 4,940 เท่ากับ 7,410 กก. หรือประมาณ 7.4 ตัน

∴ จะมีเนื้อยิปซัมดิบมาผลิตปูนปลาสเตอร์ได้ 7.4 ตันยิปซัม

3. ระบบเผาไอน้ำ

เตาเผา Continuous Furnace

จำนวนเตาที่ใช้	1	เครื่อง
อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา	200 – 300 °C	
ใช้เวลาในการเผา	3	ชั่วโมง
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ΔH มีค่าเท่ากับ	-2,023	kJ/mol
$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ΔH มีค่าเท่ากับ	-1,577	kJ/mol
พลังงานที่ต้องการใช้ระเหยน้ำในผลึก = 2,023 – 1,577	446	kJ/mol
$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ มีน้ำหนักโมเลกุล	145	g/mol
เพราะฉะนั้นยิปซัมแห้ง 1 kg ต้องการพลังงาน = (446/145)*1000	3,076	kJ/kg _{แห้ง}
ประสิทธิภาพเตาเผา	50%	
1 วัน ต้องการพลังงาน = 3,076*(100/50)	6,152	kJ/kg _{แห้ง}
ต้องใช้พลังงานทั้งหมด = 7.4*1,000*6,152	45,524,800	kJ/day
∴ 1 ชั่วโมงต้องการพลังงาน 45,524,800/24	1,896,867	kJ/hr
ค่าใช้ไฟฟ้าหน่วยละ	2.67	บาท/หน่วย
∴ ค่าใช้ไฟฟ้าคิดเป็น	11,142,196	บาท/ปี

4. ระบบบดละเอียด

เครื่อง Continuous Ball Mill

จำนวนที่ใช้	1	เครื่อง
อัตราการผลิต	500-1,000	kg/hr
ใช้มอเตอร์ขนาด	5	HP
ค่าใช้ไฟฟ้าหน่วยละ	2.67	บาท/หน่วย
∴ ค่าใช้ไฟฟ้าคิดเป็น	80,000	บาท/ปี

5. ระบบPacking

เครื่อง Packing

จำนวนที่สามารถผลิตได้	7,410	กก./วัน
ผลิตได้ 24 ชม.	309	กก./ชม.
บรรจุถุงละ	1	กก./ถุง
ขนาดถุง (ก X ย)	160 X 220	มม.

∴ สามารถผลิตได้	309	ถุง/ชม.
จำนวนการทำงานทั้งหมด	330	วัน/ปี
ทำงานตลอด	24	ชม.
คิดเป็นปริมาณการผลิต	$309 * 24 * 330 = 2,447,280$	กก./ปี
แบ่งเป็นปริมาณถุง	2,447,280	ถุง/ปี
คิดเผื่อของเสียจากการผลิต	2%	
ใน 1 ปี สามารถผลิตได้	2,398,334	ถุง/ปี
ราคาปูนปลาสเตอร์บรจุ 1 kg ราคา	12	บาท/ถุง
รายได้ต่อวันในการขายคิดเป็น	87,212	บาท/วัน
∴ รายได้ต่อปีในการขายคิดเป็น	28,780,012	บาท/ปี

ข.2 คำนวณการลงทุนและระยะเวลาคืนทุน

ตารางที่ ข.2-1 คำนวณค่าใช้จ่ายเครื่องจักรและอุปกรณ์

รายการ	จำนวน (ชุด)	ราคา
1. ถัง Aerator	2	9,400,000
2. เครื่อง drying (Belt Filter)	1	7,100,000
3. ถังตกตะกอน	2	500,000
4. Calcining	1	10,000,000
5. Ball mill	1	1,200,000
6. Packing	1	950,000
รวม		29,150,000

ตารางที่ ข.2-2 คำนวณค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า

รายการ	บาท/ปี
1. ระบบการล้างยิปซัม	100,000
2. ระบบทำให้แห้ง	12,000,000
3. ระบบเผาไอน้ำ	11,142,196
4. ระบบบดละเอียด	80,000
5. ระบบบรจุ	300,000
รวม	23,622,196

ตารางที่ ข.2-3 รวบรวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

รายการ	บาท/ปี
1. ค่าไฟฟ้า	23,622,196
2. ค่าน้ำ	27,411,754
3. ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร (3%)	990,000
4. ค่าจ้างพนักงาน	627,000
รวม	52,650,950

สรุปค่าใช้จ่ายในการลงทุนอุตสาหกรรมปูนปลาสเตอร์
กำไรสุทธิ

$$52,650,950 - 28,780,012 = 23,870,938 \text{ บาท/ปี}$$

ระยะเวลาคืนทุน

$$\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน} / \text{กำไรสุทธิ} = \text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)}$$

$$\therefore 29,150,000 / 23,870,938 = 1.22 \text{ ปี}$$

ข.3 ข้อมูลจากการทดสอบปูนปลาสเตอร์

1) การทดสอบหาค่าความชื้นของยิปซัมบริษัท

ตารางที่ ข.3-1 ตารางแสดงการบันทึกค่า % moisture ที่อุณหภูมิ 150 °C

ตากแดด (วัน)	อุณหภูมิในการเผา			เฉลี่ย (% moisture)
	150 °C	150 °C	150 °C	
1	40.36	41.28	45.64	42.43
2	33.29	32.15	38.75	34.73
3	32.5	32.77	31.12	32.13
4	28.49	29.09	27.56	28.38
5	20.77	20.39	22.27	21.14
6	20.65	20.38	20.39	20.47
7	20.11	20.49	20.39	20.33

ตารางที่ ข.3-2 ตารางแสดงการบันทึกค่า % moisture ที่อุณหภูมิ 160 °C

ตากแดด (วัน)	อุณหภูมิในการเผา			เฉลี่ย (% moisture)
	160 °C	160 °C	160 °C	
1	1.35	1.08	2.68	1.70
2	1.19	1.21	1.42	1.27
3	1.05	1.29	1.14	1.16
4	1.05	1.03	1.25	1.11
5	1.14	1.12	1.05	1.10
6	1.14	1.07	0.87	1.03
7	1.25	0.81	0.67	0.91

2) การทดสอบหาอุณหภูมิโดยการประมาณการเทียบหาค่า

ตารางที่ ข.3-3 ตารางแสดงการบันทึกค่า % moisture ที่อุณหภูมิ 160 °C

% moisture เฉลี่ย ที่อุณหภูมิ 150 °C	% moisture เฉลี่ย ที่อุณหภูมิ 160 °C	คำนวณอุณหภูมิการเผา
42.43	1.70	158.90
34.73	1.27	158.53
32.13	1.16	158.37
28.38	1.11	158.13
21.14	1.10	157.46
20.47	1.03	157.34
20.33	0.91	157.28

ตารางที่ 3-4 ตัวอย่างการประมาณการเทียบหาค่าอุณหภูมิในการเผา

	% moisture ที่อุณหภูมิ 150 °C	% moisture ที่อุณหภูมิ 160 °C
ตากแดด 1 วัน	42.43	1.70
ตากแดด 7 วัน	20.33	0.91

วิธีคำนวณ

$$\frac{X - 150^{\circ}\text{C}}{160^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}} = \frac{20.33 - 6.2}{20.33 - 0.91}$$

$$X = 157.28^{\circ}\text{C}$$

3) การทดสอบระยะเวลาการก่อดัวของปูนปลาสเตอร์

ตารางที่ ข.3-5 ตารางแสดงผลการบันทึกของเวลาที่ใช้ในการก่อดัว

อุณหภูมิ เผา (°C)	เวลา เผา (ชม.)	P/W	t _{A1}	t _{A2}	t _{A3}	t _A เฉลี่ย	t _{B1}	t _{B2}	t _{B3}	t _B เฉลี่ย	t _A + t _B
140°C	1 ชม.	0.67	10	11	10	10	21	16	19	18	28
		0.85	12	15	11	13	25	21	23	24	37
		0.92	17	21	18	19	22	18	26	23	42
		1.00	20	19	20	20	27	22	23	25	45
140°C	2 ชม.	0.67	12	8	8	10	12	15	11	13	23
		0.85	14	11	13	12	25	31	24	27	39
		0.92	26	27	27	27	12	15	11	13	40
		1.00	27	27	26	27	16	15	14	15	42
140°C	3 ชม.	0.67	11	8	10	9	16	15	19	17	26
		0.85	12	7	10	9	16	23	15	19	28
		0.92	12	11	8	10	18	17	18	18	28
		1.00	10	15	9	12	20	16	16	18	30
160°C	1 ชม.	0.67	10	9	7	8	19	21	13	16	24
		0.85	8	9	9	9	21	20	20	20	29
		0.92	13	6	7	9	21	22	21	21	30
		1.00	13	10	9	11	20	24	19	21	32
160°C	2 ชม.	0.67	9	11	7	8	12	11	12	12	20
		0.85	11	8	10	9	15	16	12	14	23
		0.92	14	9	8	11	18	21	15	17	28
		1.00	13	9	10	12	19	18	23	21	33
160°C	3 ชม.	0.67	4	2	6	4	19	8	9	12	16
		0.85	3	4	4	4	14	13	14	14	18
		0.92	7	8	4	5	21	11	12	15	20

		1.00	8	8	9	8	16	17	12	15	23
180°C	1 ชม.	0.67	10	15	6	7	14	13	9	11	18
		0.85	10	7	12	9	14	8	9	11	20
		0.92	9	8	9	9	12	15	11	13	22
		1.00	12	7	5	8	16	17	12	15	23
180°C	2 ชม.	0.67	8	3	5	5	10	12	8	11	16
		0.85	5	6	8	6	12	12	11	12	18
		0.92	15	10	5	10	7	5	13	8	18
		1.00	13	7	6	9	9	10	15	12	21
180°C	3 ชม.	0.67	5	5	6	5	8	12	11	10	15
		0.85	4	9	9	7	8	2	18	9	16
		0.92	15	6	7	9	10	9	11	10	19
		1.00	11	11	12	11	7	7	14	9	20
ปูนปลาสเตอร์ที่ขาย ตามท้องตลาด		0.67	4	6	5	5	8	9	10	9	18
	0.85	4	4	8	4	10	10	13	11	22	
	0.92	8	9	7	8	11	12	7	10	0	
	1.00	10	9	11	10	11	12	13	12	0	

4) การทดสอบความต้านทานแรงอัด

ตารางที่ ข.3-6 ตารางแสดงผลการทดลองหาความต้านทานแรงอัด

อุณหภูมิในการ เผา (°C)	เวลาในการ เผา (ชม.)	P/W	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	compressive strength เฉลี่ย (N/mm ²)
140 °C	1 ชม.	0.67	0.06	0.07	0.07	0.07
		0.85	0.04	0.05	0.05	0.05
		0.92	0.02	0.01	0.02	0.02
		1.00	0.03	0.01	0.01	0.02
140 °C	2 ชม.	0.67	0.10	0.18	0.15	0.12
		0.85	0.09	0.05	0.06	0.07
		0.92	0.03	0.06	0.04	0.05
		1.00	0.03	0.08	0.04	0.05
140 °C	3 ชม.	0.67	0.18	0.28	0.19	0.22
		0.85	0.16	0.22	0.14	0.17

		0.92	0.07	0.15	0.11	0.11
		1.00	0.05	0.08	0.04	0.06
160 °C	1 ชม.	0.67	0.24	0.30	0.27	0.28
		0.85	0.15	0.17	0.10	0.14
		0.92	0.05	0.12	0.23	0.13
		1.00	0.08	0.14	0.10	0.11
160 °C	2 ชม.	0.67	0.40	0.33	0.34	0.35
		0.85	0.25	0.20	0.22	0.21
		0.92	0.17	0.23	0.20	0.19
		1.00	0.15	0.16	0.15	0.15
160 °C	3 ชม.	0.67	0.80	0.75	0.77	0.78
		0.85	0.50	0.48	0.51	0.49
		0.92	0.50	0.30	0.40	0.40
		1.00	0.35	0.34	0.34	0.34
180 °C	1 ชม.	0.67	0.21	0.29	0.22	0.24
		0.85	0.20	0.20	0.20	0.20
		0.92	0.15	0.19	0.18	0.17
		1.00	0.15	0.15	0.14	0.15
180 °C	2 ชม.	0.67	0.37	0.40	0.37	0.38
		0.85	0.28	0.27	0.28	0.28
		0.92	0.25	0.21	0.24	0.23
		1.00	0.19	0.15	0.18	0.17
180 °C	3 ชม.	0.67	0.92	0.85	0.89	0.87
		0.85	0.73	0.70	0.72	0.72
		0.92	0.60	0.53	0.55	0.56
		1.00	0.45	0.40	0.39	0.42
ปูนปลาสเตอร์ที่ขายตาม ท้องตลาด		0.67	1.00	1.06	1.03	1.04
		0.85	0.67	0.66	0.67	0.67
		0.92	0.58	0.61	0.60	0.59
		1.00	0.50	0.55	0.51	0.52

5) การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ ข.3-7 ตารางแสดงผลการทดลองอัตราการดูดซึมน้ำ

อุณหภูมิ เผา (°C)	เวลา เผา (ชม.)	P/W	นน.ก่อนแช่น้ำกลั่น (g)				นน.หลังแช่น้ำกลั่น (g)				% absorption
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
140 °C	1 ชม.	0.67	22.14	25.68	36.39	28.07	-	-	-	-	-
		0.85	50.12	56.21	54.59	53.64	-	-	-	-	-
		0.92	32.42	35.69	42.23	36.78	-	-	-	-	-
		1.00	20.21	22.30	20.16	20.89	-	-	-	-	-
140 °C	2 ชม.	0.67	44.25	45.63	51.27	47.05	-	-	-	-	-
		0.85	65.85	67.93	72.20	68.66	-	-	-	-	-
		0.92	38.40	39.45	36.27	38.04	-	-	-	-	-
		1.00	37.96	38.59	29.98	35.51	-	-	-	-	-
140 °C	3 ชม.	0.67	53.26	55.68	63.71	57.55	78.58	69.85	79.24	75.89	31.87
		0.85	42.83	43.98	41.89	42.90	59.78	61.20	54.25	58.41	36.15
		0.92	46.58	47.35	36.27	43.40	65.14	60.22	35.27	60.21	38.73
		1.00	42.96	43.87	28.13	38.32	62.39	54.14	53.78	56.77	48.15
160 °C	1 ชม.	0.67	60.25	61.23	35.66	52.38	87.08	72.69	65.95	75.24	43.64
		0.85	72.45	75.24	59.2	68.97	105.87	100.86	109.32	105.35	52.75
		0.92	40.25	42.13	35.82	39.40	64.85	59.21	61.58	61.88	57.06
		1.00	42.25	43.56	35.12	40.31	66.55	61.89	68.21	65.55	62.61
160 °C	2 ชม.	0.67	36.98	39.85	36.45	37.76	50.27	52.09	58.32	53.56	41.84
		0.85	82.56	87.63	65.01	78.40	136.43	107.94	115.36	119.91	52.95
		0.92	41.75	43.82	41.81	42.46	51.90	78.36	68.25	66.17	55.84
		1.00	36.89	39.45	36.49	37.61	68.85	60.91	53.96	60.24	60.17
160 °C	3 ชม.	0.67	51.53	53.68	42.87	49.36	66.97	62.14	69.58	66.23	34.18
		0.85	42.48	43.12	36.77	40.79	62.89	50.76	68.45	60.70	48.81
		0.92	45.65	48.32	45.32	46.43	84.14	53.64	75.16	70.98	52.88
		1.00	41.25	43.75	39.89	41.63	72.39	62.47	60.68	65.18	56.57
180 °C	1 ชม.	0.67	58.45	59.78	52.47	56.90	78.40	70.52	72.69	81.65	43.50
		0.85	48.12	49.56	45.60	47.76	71.86	83.34	66.41	73.87	54.67
		0.92	45.86	48.97	30.78	41.87	67.16	67.25	69.86	68.09	62.62
		1.00	38.25	39.13	36.80	38.06	58.81	71.26	62.53	64.20	68.68
180 °C	2 ชม.	0.67	35.48	38.56	39.36	37.80	49.87	51.85	62.62	54.78	44.92
		0.85	43.56	48.97	38.00	43.51	69.14	53.45	71.69	64.76	48.84
		0.92	39.55	41.83	39.34	40.24	60.85	69.14	52.35	60.78	51.04
		1.00	55.21	58.32	42.08	51.87	83.09	76.68	80.56	80.11	54.44
180 °C	3 ชม.	0.67	55.65	58.32	47.61	53.86	74.18	78.69	60.52	71.15	32.10
		0.85	39.55	41.21	34.27	41.01	43.83	59.35	69.23	57.47	40.14

		0.92	52.32	54.85	51.89	53.02	87.55	74.25	69.14	76.98	45.19
		1.00	46.77	47.23	37.73	43.91	67.96	70.25	66.36	68.19	55.29
<p>ปูนปลาสเตอร์ที่ขาย ตามท้องตลาด</p>		0.67	54.35	51.23	52.25	52.61	54.57	78.94	77.25	71.92	36.70
		0.85	38.52	38.77	40.94	39.41	50.91	52.36	68.54	57.27	45.32
		0.92	43.52	45.43	40.56	43.17	67.12	62.52	69.32	66.32	53.63
		1.00	41.88	43.56	38.01	41.15	77.43	52.12	69.68	66.41	61.39

ข.4 มาตรฐานปูนปลาสเตอร์ มอก. 188-2547

ตารางที่ ข.4-1 คุณลักษณะทางเคมีตามมาตรฐาน มอก. 188 – 2547

รายการ ที่	คุณลักษณะ	ประเภท 1	ประเภท 2			ประเภท 3	ประเภท 4
			ชนิด ก.		ชนิด ข.		
			ก.1	ก.2			
1	ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ ไม่น้อยกว่า	2/3 ของ SO ₃	2/3 ของ SO ₃	2/3 ของ SO ₃	2/3 ของ SO ₃	2/3 ของ SO ₃	
2	ปริมาณแก๊สแมกนีเซียมที่ละลายได้ คิดเป็นมวลของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ไม่เกิน	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
3	ปริมาณซัลเฟตไตรออกไซด์ (SO ₃) ไม่น้อยกว่า	35	35	35	40	47	
4	ปริมาณคลอไรด์ (Cl) เมื่อคิดเป็นมวลของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ไม่เกิน	0.2	-	-	-	-	
5	ปริมาณไลม์ (lime) ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH) ₂) ไม่น้อยกว่า	-	-	3	-	-	
6	การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา ไม่น้อยกว่า	4	4	4	-	-	
	ไม่เกิน	9	9	9	3	2	

หน่วยเป็นร้อยละ

หมายเหตุ ประเภทที่ 1 คือ ปูนปลาสเตอร์

ตารางที่ ข.4-2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ตามมาตรฐาน มอก. 188 - 2547

รายการ ที่	คุณลักษณะ	หน่วย	ประเภท 1	ประเภท 2			ประเภท 3	ประเภท 4	วิธีทดสอบ ตามข้อ
				ชนิด ก.		ชนิด ข.			
				ก.1	ก.2				
1	ความละเอียด ปริมาณที่ผ่านแรง แรงขนาด 1.4 mm แรงขนาด 150 Om ไม่น้อยกว่า	%	100 60	- -	100 60	100 60	100 60	8.2.2	
2	ระยะเวลาการก่อตัว (setting time) ระยะต้น ระยะปลาย	min	5 ถึง 35 10 ถึง 50	- -	- -	- -	- -	8.2.3	
3	การขยายตัวเชิงเส้นจากการก่อตัว (expansion on setting) ไม่เกิน	%	-	-	0.2	-	-	8.2.4	
4	ความต้านแรงอัด (compressive strength) ไม่น้อยกว่า	N/mm ²	8.4	-	-	-	-	8.2.5	
5	ความต้านแรงดึง (flexural strength) ไม่น้อยกว่า	N/mm ²	2.5	1.2	1.2	-	-	8.2.6	
6	ความแข็งของพื้นผิว (surface hardness) เส้นผ่านศูนย์กลางรอยบ่ม ไม่เกิน	mm	-	-	5	4.5	4	8.2.7	

หน่วยเป็นร้อยละ

หมายเหตุ 1. ปูนยิปซัมประเภท 1 มีเกณฑ์กำหนดทั้งในเรื่องความต้านแรงอัดและความต้านแรงดึง อาจเลือกเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้

ภาคผนวก ค.

- ค.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของบริษัท
- ค.2 พารามิเตอร์และการวิเคราะห์น้ำเสีย

ค.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของบริษัท ไทยซีตริก แอซิด จำกัด

ตารางที่ ก.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของ บริษัทไทยซีตริก แอซิด จำกัด

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่วัดได้	ค่าที่ใช้ ออกแบบ
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	4.74	4-5
บีโอดี (BOD)	มก./ล.	6,800	7,000
ซีโอดี (COD total)	มก./ล.	14,500	15,000
ซีโอดีที่ตกตะกอนแล้ว (COD settle)	มก./ล.	11,600	12,000
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	248	250
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolve Solids)	มก./ล.	16,890	17,000
ของแข็งที่ตกตะกอนได้ (Settleable Solids)	มก./ล.	Undetected	-
ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (Volatile Suspended Solids)	มก./ล.	216	220
ความเป็นกรดต่าง (Alkaline)	มก./ล.	379	380
ไนโตรเจน (TKN)	มก./ล.	245	250
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	มก./ล.	63	65
ซัลเฟต (SO ₄)	มก./ล.	250	250
ไขมันและน้ำมัน (FOG)	มก./ล.	5.7	6
คลอไรด์ (Cl)	มก./ล.	50	50
แคลเซียม (Ca ²⁺)	มก./ล.	1,216	1,250
โซเดียม (Na ⁺)	มก./ล.	633	650
เหล็ก (Fe)	มก./ล.	170	170
นิกเกิล (Ni)	มก./ล.	0.202	0.202
โคบอลต์ (Co)	มก./ล.	0.047	0.047

ค.2 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์ COD

แบบ Closed Reflux ด้วยวิธี Colorimetric สำหรับวิเคราะห์ COD 0-1,500 mg/l ของน้ำเสียตัวอย่าง

1.1 การเตรียมตัวอย่าง

น้ำเสียตัวอย่างที่มีความเข้มข้น COD > 1,500 mg/L จะต้องทำการเจือจางน้ำเสียด้วยน้ำกลั่นให้อยู่ในช่วงค่าการวิเคราะห์ COD 0-1,500 mg/L เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดค่าเกินช่วงที่เครื่องสามารถวัดได้

1.2 การวิเคราะห์ COD ในตัวอย่างน้ำเสีย

1) ปิเปิดน้ำเสียตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้ว ใส่ลงในหลอด COD ปริมาณ 2 ml (สำหรับ Blank ให้ใช้ Blank ตอนทำ Standard curve หรือจะเตรียมใหม่ก็ได้ แต่แนะนำให้เปลี่ยนการทำ Blank ใหม่ทุก 2 เดือน)

2) ปิเปิด Digestion reagent (สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมท : $K_2Cr_2O_7$) ปริมาณ 1 ml แล้วค่อยๆหยด $H_2SO_4 - Ag_2SO_4$ ปริมาตร 2 ml ตามลงไป ในหลอด COD ของน้ำเสียตัวอย่าง

3) เข็ดหลอดให้สะอาด แล้วนำไปย่อยในตู้อบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวัดค่า COD ด้วยเครื่อง Colorimeter หรือ Spectrophotometer นั้นๆ

2. pH (พีเอช)

ใช้เครื่อง pH meter ในการอ่านค่าความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำเสีย

3. การวิเคราะห์ VFA และ Alk โดยวิธีไทเตรท

3.1 วิธีวิเคราะห์

1) หาสภาพต่างทั้งหมด (Alkaline ;Alk) ตวงตัวอย่างน้ำที่ใสมา 20 – 200 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 300 ml วัด pH ของตัวอย่างน้ำไทเตรทตัวอย่างน้ำต่อไปจน pH ถึง 3.3 – 3.5 ไม่ต้องจดปริมาณกรดที่ใช้

2) ต้มไล่กรดคาร์บอนิก นำไปต้มจุดเดือดประมาณ 2-3 นาที เพื่อไล่กรดคาร์บอนิก

3) ไทเตรทกลับ ปรับ pH ให้เป็น 4 ด้วยสารละลาย NaOH 0.5 M ไทเตรทต่อจาก pH4 ไปจนถึง 7 โดยต้องจดปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตอนไทเตรทจาก pH 4-7 ไว้ด้วย สมมุติ = B

3.2 การคำนวณ

$$\begin{aligned} & \text{สภาพต่างทั้งหมด ; mg/L คิดในรูป CaCO}_3 \\ & = \frac{A \times M \text{ กรดซัลฟูริก} \times 50 \times 1,000}{\text{MI ตัวอย่างน้ำ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{สภาพต่างกรดระเหยง่าย (VFA); mg/L คิดในรูป CaCO}_3 \\ & = \frac{B \times M \text{ โซเดียมไฮดรอกไซด์} \times 50 \times 1,000}{\text{MI ตัวอย่างน้ำ}} \end{aligned}$$

กรณีที่ 1

ถ้าสภาพต่าง VFA < 180 mg/L

VFA คิดในรูปกรดซิติริก; mg/L = สภาพต่าง VFA x 1.0

กรณีที่ 2

ถ้าสภาพต่าง VFA > 180 mg/L

VFA คิดในรูปกรดอะซิติก; mg/L = สภาพต่าง VFA x 1.5

4. SS (Suspended Solid, หรือของแข็งแขวนลอย)

3.1 วิธีการวิเคราะห์

1) นำกระดาษกรอง GF/C ไปอบใน Oven ที่อุณหภูมิ 103 – 105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วทิ้งให้เย็นใน Dissicator

2) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง GF/C ตั้งต้นไว้ สมมุติ = W1 g

3) เตรียมตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ปริมาณขึ้นกับชนิดของตัวอย่าง กรณีเป็นน้ำทิ้งสุดท้าย ปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสม 50 -100 ml กรณีเป็นตัวอย่างตะกอนที่มีความเข้มข้นมากๆ ต้องนำมาเจือจางก่อนทำการวิเคราะห์เพื่อให้สามารถกรองได้ ปริมาณขึ้นกับความเหมาะสม

4) เมื่อเตรียมตัวอย่างได้แล้ว วางกระดาษกรอง GF/C บน Buchner funnel ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ ใช้น้ำกลั่นฉีดบนกระดาษกรองให้เปียก แล้วเปิด Vacuum pump เพื่อให้กระดาษกรองแนบติดกับ Buchner funnel

5) เทตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้ว บนกระดาษกรองแล้วเปิด Vacuum pump ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษของแข็งที่ตกค้างบริเวณขอบ Buchner funnel ดูดจนน้ำบนกระดาษกรองแห้ง

6) นำกระดาษกรองที่กรองตัวอย่างได้แล้ววางในกระดาษอลูมิเนียม แล้วนำไปอบใน Oven ที่อุณหภูมิ 103 – 105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน Dessicator

7. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองอีกครั้ง สมมุติ = W2 g

3.2 การคำนวณ

$$\text{SS (mg/L)} = \frac{W2 - W1 \times 1,000 \times 1,000}{\text{ml sample}}$$

เมื่อ W2 เป็นน้ำหนักกระดาษกรอง GF/C + ของแข็ง, g

W1 เป็นน้ำหนักกระดาษกรอง GF/C, g

5. วิธีหา COD profile

- 1) เก็บตัวอย่างตะกอนจากก๊อกตะกอน 1-11 ก๊อกละประมาณ 200 ml
- 2) ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20-30 นาที เพื่อให้ตกตะกอน ถ้ามีตะกอนบางส่วนลอยที่ผิวน้ำเนื่อง
จากแก๊สที่ติดมา ให้ใช้แท่งแก้วคนให้ตะกอนตกลงไป
- 3) นำน้ำส่วนบนที่ตกตะกอนแล้วไปกรองด้วยกระดาษกรอง
- 4) นำน้ำใสที่กรองได้แต่ละก๊อกไปวิเคราะห์ COD ตามวิธีวิเคราะห์ COD

6. วิธีหา Solid profile

- 1) เก็บตัวอย่างตะกอนจากก๊อกตะกอน 1- 11 มาก๊อกละประมาณ 200 ml
- 2) นำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นเพื่อให้สามารถกรองได้ อัตราการเจือจางขึ้นกับความเข้มข้น
ของตะกอนก๊อกต่างๆ ซึ่งมีความเข้มข้นสูงอัตราการเจือจางมากกว่าก๊อกบนๆ โดยทั่วไปอัตราเจือ
จาง ~ 5-10 เท่า
- 3) เมื่อเตรียมตัวอย่างของแต่ละก๊อกได้แล้ว นำไปวิเคราะห์หา SS ของแต่ละก๊อก ตามวิธี
วิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย

7. วิธีหา Sludge Volume

7.1 วิธีการวิเคราะห์

- 1) ใส่น้ำตัวอย่างใน Imhoff cone จนได้ปริมาตร 1,000 ml
- 2) ตั้งทิ้งไว้นิ่งๆ เป็นเวลา 30 นาที หรือ 60 นาที
- 3) อ่านปริมาตรของตะกอนส่วนที่ตกอยู่ข้างล่างของ Imhoff หน่วยเป็น ml/L

8. วิธีหา Sludge Volume Index

8.1 การคำนวณ

- 1) หาค่า Total Suspended Solid; MLSS ในถังเติมอากาศ ตามวิธีการวิเคราะห์ SS
- 2) หาค่า V_{30} ; SV_{30} ของน้ำตะกอนในถังเติมอากาศ

8.2 การคำนวณ

$$\text{SVI (ml/g)} = \frac{\text{V30 (ml/L)} \times 1000}{\text{MLSS (mg/L)}}$$