

การศึกษาความเป็นไปได้การลงทุนสร้างโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวผง
ส่วนที่ 1) การออกแบบกระบวนการและอุปกรณ์ในโรงงานแปรรูป
น้ำตาลมะพร้าวผง

Feasibility Study of Investment on Coconut Sugar Powder Plant

Phase I - Design of Processing Lines and Equipment for Coconut Sugar
Powder Plant



T122021

นายอรรถชัย ฉายแสง

ปพ.
๓ 3537
2554

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 122021
วัน,เดือน,ปี - 6 ส.ค. 2555

b..... 12420037
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2554

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวผง

ส่วนที่ 1) การออกแบบกระบวนการและอุปกรณ์ในโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวผง

Feasibility Study of Investment on Coconut Sugar Powder Plant

Phase I - Design of Processing Lines and Equipment for Coconut Sugar Powder Plant

ผู้จัดทำ

นายอรรถชัย

ฉายแสง

(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง	การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวผง ส่วนที่1) การออกแบบกระบวนการและอุปกรณ์ในโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวผง
โดย	นาย อรรถชัย ฉายแสง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญาานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

น้ำตาลมะพร้าวผงจัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพที่มีค่าดัชนีไกลเซมิกต่ำ ทำให้ร่างกายสามารถควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับน้ำตาลชนิดอื่น ๆ รวมทั้งควรส่งเสริมให้มีการผลิตเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเกษตรกรไทยที่ปลูกต้นมะพร้าว ในโครงการนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้การลงทุนสร้างโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวผง ในส่วนที่ 1 การออกแบบกระบวนการและอุปกรณ์ในโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวผง ในการศึกษาได้ทำการออกแบบกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงในรูปแบบโรงงานอุตสาหกรรม โดยทำการคำนวณ คัดเลือกอุปกรณ์ เครื่องจักรที่สำคัญ ที่จำเป็นและเกี่ยวข้องต่อการผลิต ด้วยกำลังการผลิตน้ำตาลมะพร้าว 1,000 ลิตรต่อวัน ได้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงประมาณ 184 กิโลกรัมต่อวัน การแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวผงนั้นอาศัยกรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย อุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในกระบวนการผลิตประกอบด้วย ถังทำความเย็น ถังกวนผสม เครื่องกรองแบบใช้แรงอัดตะกอน เครื่องระเหยแบบฟิล์มไหลลง เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เครื่องร่อนผง และเครื่องบรรจุ ระบบการผลิตส่วนใหญ่เป็นแบบต่อเนื่อง มีระบบควบคุมแบบ PLC สำหรับการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ เช่นการเปิด – ปิด มอเตอร์ปั๊มและวาล์ว ของถังทำความเย็นที่ 2 ถังทำความเย็นที่ 3 และควบคุมเปิด – ปิด วาล์วของถังกวนสารที่ 1 ของถังกวนสารที่ 2 และใช้ระบบควบคุมแบบ PID สำหรับควบคุมเครื่องระเหย และเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่วนการออกแบบผังโรงงานใช้พื้นที่ในการดำเนินการทั้งหมดคิดเป็น 134.69 ตารางเมตร การประมาณราคาลงทุนสำหรับต้นทุนคงที่ที่ใช้ในการสร้างโรงงานและจัดซื้ออุปกรณ์เครื่องจักรในการผลิต คิดเป็นเงินจำนวน 24 ล้านบาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Feasibility Study of Investment on Coconut Sugar Powder Plant Phase I - Design of Processing Lines and Equipment for Coconut Sugar Powder Plant
By	Mr. Authachai Chaysang
Advisor	Asst.Prof.Dr.Maradee Phongpipatpong
Co-Advisor	Dr.Udom Janjarassuk
Report for	Bachelor' Degree of Food Engineering Department of Food Engineering Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

Coconut sugar powder is considered as a new product and attracting consumer attention. Because it has a low glycaemic index which is beneficial for health. Low glycaemic index sugar causes a slow rise in blood-sugar level than other sugars. The new powder form of coconut sugar can lead on the promotion of the higher value coconut product. In this project, the feasibility study of investment on coconut sugar powder plant has been conducted and divided into 2 phase: phase I - design of processing lines and equipment for coconut sugar powder plant and phase II - economic analysis of investment on coconut powder plant

For phase I, the study is focused on the design of coconut sugar powder plant. The Calculation and the selection of the equipment used in the plant are performed with a capacity of 1,000 liters of entering coconut sugar per day, yielded approximately 184 kg of coconut sugar powder per day. To convert coconut sugar to the powder form is based on spray drying process. The major equipments in the process include cooling tank, mixing tank, filter press, falling - film evaporator, spray dryer, sifter and powder filling machine. The process is continuously operated and using a Programmable logic controller (PLC) control system for controlling the operation performance e.g. an on - off switch for motor pump and valve of cooling tank, an on - off valve of mixing tank, a proportional integral derivative controller (PID) for evaporator and spray dryer. The total area of the designed plant for all operations is 134.69 m². The estimated cost of investment for plant construction and purchase of equipment is 24 million baht.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปโดยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ คำชี้แนะและแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานที่ดี

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้

ขอขอบคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในการทำโครงงานนี้

ขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่าง ๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจและแก้ไขข้อผิดพลาด จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ กระผมขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นาย อรรถชัย ฉายแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	iv
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	v
กิตติกรรมประกาศ	vi
สารบัญ	vii
สารบัญตาราง	x
สารบัญรูป	xii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการ เหตุผล และที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กระบวนการผลิตอาหารประเภทผง	4
2.1.1 การกรอง	4
2.1.2 การระเหยน้ำ	8
2.1.3 การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	10
2.2 การออกแบบกระบวนการผลิต	13
2.2.1 ชนิดของกระบวนการผลิต	13
2.2.2 ขั้นตอนการออกแบบกระบวนการผลิต	14
2.2.3 การดำเนินการในขั้นตอนกระบวนการผลิต	14
2.2.4 ข้อจำกัดการออกแบบ	15
2.2.5 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตให้ถูกสุขลักษณะ	15
2.3 การออกแบบระบบควบคุมกระบวนการผลิต	19
2.3.1 ขอบเขตของระบบการควบคุมทางวิศวกรรม	19
2.3.2 องค์ประกอบของระบบควบคุม	19
2.4 การวางผังโรงงาน	22
2.4.1 ชนิดของการจัดวางผังโรงงาน	23
2.4.2 ขั้นตอนการออกแบบผังโรงงาน	23
2.4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การออกแบบโรงงานผลิตอย่างถูกสุขลักษณะ	31
2.5.1 สถานที่เก็บวัตถุดิบ	31
2.5.2 สถานที่เก็บวัตถุดิบและภาชนะบรรจุ	31
2.5.3 สถานที่แปรรูปอาหาร	32
2.5.4 สถานที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์สุดท้าย	32
2.6 การออกแบบอาคารโรงงานและโครงสร้าง	33
2.6.1 ลักษณะโครงสร้างโรงงานผลิต	33
2.6.2 พื้นโรงงานผลิต	34
2.6.3 หลังคาและเพดาน	36
2.6.4 ผนังและหน้าต่าง	37
2.6.5 ประตู	39
2.6.6 การระบายอากาศ การควบคุมอากาศและอุณหภูมิภายในโรงงาน	39
2.7 การประเมินต้นทุนเบื้องต้นอย่างคร่าว ๆ	40
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	47
บทที่ 3 การวิเคราะห์กระบวนการผลิต	49
3.1 การวิเคราะห์สถานการณ์น้ำตาลมะพร้าว	49
3.2 รายละเอียดผลิตภัณฑ์	53
3.3 การออกแบบกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง	54
3.3.1 รายละเอียดการผลิต	54
3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต	56
บทที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต	64
4.1 สมดุลมวล	64
4.2 การออกแบบอุปกรณ์	76
4.2.1 การออกแบบอุปกรณ์ตามทฤษฎีการคำนวณ	76
4.2.2 การเลือกใช้วัสดุ - อุปกรณ์ตามคุณสมบัติการใช้งาน	112
บทที่ 5 การออกแบบระบบการควบคุม	116
5.1 ระบบควบคุมกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง	116

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 การวางผังโรงงาน	123
6.1 รายละเอียดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง	123
6.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	125
6.3 การวิเคราะห์ความต้องการเนื้อที่	130
6.4 การออกแบบผังโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง	132
6.5 การประเมินต้นทุนการจัดสร้างโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงเบื้องต้น	134
บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	137
7.1 สรุปผลการดำเนินการ	137
7.2 ข้อเสนอแนะ	139
เอกสารอ้างอิง	140
ภาคผนวก	145
ภาคผนวก ก	146
ภาคผนวก ข	159



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 หลักเกณฑ์การเลือกเครื่องระเหย	9
ตารางที่ 2.2 ประเภทของสแตนเลสที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร	18
ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ และรหัสต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบการเขียนแผนภาพความสัมพันธ์	25
ตารางที่ 2.4 ค่า Factor ที่ใช้สำหรับประมาณค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่	43
ตารางที่ 2.5 ค่า Factor (f_m) ของวัสดุเทียบกับเหล็กคาร์บอนธรรมดา	44
ตารางที่ 2.6 ราคาประมาณอุปกรณ์ เครื่องจักรตาม	45
ตารางที่ 3.1 สถานการณ์การผลิตมะพร้าวและการค้าโลกปี พ.ศ. 2552	49
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลพื้นที่ปลูกมะพร้าวและผลผลิตในปี พ.ศ.2553 แบ่งตามภูมิภาคของประเทศไทย	50
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลพื้นที่ปลูกมะพร้าวและผลผลิตในปี พ.ศ.2553 ของ 10 จังหวัดแรกที่มีผลผลิตต่อไร่มากที่สุดของประเทศไทย	50
ตารางที่ 3.4 ปริมาณการผลิตและมูลค่าการส่งออกน้ำตาลมะพร้าว – น้ำตาลโตนดปี พ.ศ.2543 – 2554	51
ตารางที่ 4.1 สมดุลมวลของน้ำตาลมะพร้าวในแต่ละหน่วยงาน	74
ตารางที่ 4.2 ค่าความปลอดภัย	87
ตารางที่ 4.3 สมดุลมวลและสมดุลพลังงานของUtilities ในแต่ละหน่วยงานย่อย	112
ตารางที่ 4.4 การคิดขนาดน้ำตาลมะพร้าวผง	113
ตารางที่ 5.1 ลำดับการเปิด – ปิดมอเตอร์ปั๊มของCooling tank 1 และเปิด – ปิดวาล์วทางเข้าของCooling Tank 2, Cooling Tank 3 เพื่อลำเลียงสาร	117
ตารางที่ 5.2 ลำดับการเปิด – ปิดวาล์วทางออกของCooling Tank 2, Cooling Tank 3 เพื่อลำเลียงสาร	118
ตารางที่ 5.3 ลำดับการเปิด – ปิดวาล์วเข้าออกเพื่อลำเลียงสารของMixing Tank 1, 2	120
ตารางที่ 5.4 รายการอุปกรณ์ และการควบคุมของแต่ละหน่วยงาน	121
ตารางที่ 6.1 รายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง	123
ตารางที่ 6.2 แสดงผลระดับของความสัมพันธ์	127
ตารางที่ 6.3 แสดงเหตุผลของความสัมพันธ์ระหว่างแผนกที่มีความสัมพันธ์ระดับ A	127
ตารางที่ 6.4 แสดงเหตุผลของความสัมพันธ์ระหว่างแผนกที่มีความสัมพันธ์ระดับ E	128
ตารางที่ 6.5 แสดงเหตุผลของความสัมพันธ์ระหว่างแผนกที่มีความสัมพันธ์ระดับ I	128
ตารางที่ 6.6 แสดงเหตุผลของความสัมพันธ์ระหว่างแผนกที่มีความสัมพันธ์ระดับ O	129

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 6.7 ความต้องการของเนื้อที่ของหน่วยการผลิต	130
ตารางที่ 6.8 ความต้องการของเนื้อที่ของหน่วยสนับสนุนการผลิต	131
ตารางที่ ก.1 แสดงความสว่างที่เหมาะสมต่องานประเภทต่าง ๆ	147
ตารางที่ ก.2 ขนาดของท่อเหล็กกล้า	148
ตารางที่ ก.3 สัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับข้อต่อท่อ ทางเข้า ทางออก และข้องอ	149
ตารางที่ ก.4 สัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับวาล์ว	151
ตารางที่ ก.5 ค่าความหยาบเฉลี่ยของท่อบางชนิดในท้องตลาด	152
ตารางที่ ก.6 ขนาดมาตรฐานของใบกวน	153
ตารางที่ ก.7 คุณสมบัติของบีมแต่ละชนิด	154
ตารางที่ ก.8 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในทางวิศวกรรม	155
ตารางที่ ก.9 ตารางเทอร์โมไดนามิกส์ ใช้น้ำอิมตัว อุณหภูมิเป็นหลัก	156
ตารางที่ ก.10 ตารางเทอร์โมไดนามิกส์ ใช้อีรอนยวดยิ่ง	157
ตารางที่ ก.11 คุณสมบัติของพลาสติกที่นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร	158

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เครื่องกรองใช้แรงอัดตะกอนแบบ Chamber	5
รูปที่ 2.2 เครื่องกรองใช้แรงอัดตะกอนแบบ Membrane	6
รูปที่ 2.3 เครื่องกรองใช้แรงอัดตะกอนแบบ Horizontal	6
รูปที่ 2.4 เครื่องกรองแบบ Shell and Leaf Pressure	7
รูปที่ 2.5 เครื่องกรองแบบ Rotary Drum Vacuum	7
รูปที่ 2.6 แบบของการไหลของเหลวในเครื่องระเหยสามเอฟเฟค	10
รูปที่ 2.7 หัวฉีดที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย (a) หัวฉีดแบบหมุน, (b) หัวฉีดแบบแรงดัน และ (c) หัวฉีดแบบ Two - Fluid Nozzle	12
รูปที่ 2.8 รูปแบบการไหลของสารละลายและอากาศร้อนในการทำแห้งแบบพ่นฝอย (a) การไหลในทิศทางเดียวกัน (b) การไหลสวนทางกัน และ (c) การไหลแบบผสมกัน	13
รูปที่ 2.9 ข้อกำหนดในการออกแบบ	15
รูปที่ 2.10 ข้อบกพร่องจากการติดตั้งเครื่องมือ (a) ที่มีช่องทำความสะอาดแคบเกินไปและเกิดมูมอับที่ขาตั้ง (b-c) ช่องทำความสะอาดพอเหมาะ และไม่ทำให้เกิดมูมแหลม	17
รูปที่ 2.11 (a) การเชื่อมกันเป็นมูมแหลมเป็นแบบไม่ถูกสุขลักษณะ (b) หลีกเลี่ยงการเกิดมูมแหลม ($\leq 90^\circ$) เป็นแบบถูกสุขลักษณะ	17
รูปที่ 2.12 ค่าเอาต์พุตของการควบคุมแบบ PI เมื่อมีการเบี่ยงเบนแบบ Unit Step	21
รูปที่ 2.13 ค่าเอาต์พุตของการควบคุมแบบ PD เมื่อมีการเบี่ยงเบนแบบ Unit Ramp	21
รูปที่ 2.14 ค่าเอาต์พุตของการควบคุมแบบ PID เมื่อมีการเบี่ยงเบนแบบ Unit Ramp	22
รูปที่ 2.15 การออกแบบแผนผังอย่างหยาบ	24
รูปที่ 2.16 การออกแบบแผนผังอย่างละเอียด	24
รูปที่ 2.17 การหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยงาน	27
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการวางผังการผลิตที่พบในอุตสาหกรรมอาหาร	32
รูปที่ 2.19 แสดงท่อระบายน้ำควอร์ไค้งมน	36
รูปที่ 3.1 วิธีการตลาดของน้ำตาลมะพร้าว	52
รูปที่ 3.2 แผนภูมิกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง	55
รูปที่ 3.3 ถึงทำความเข้าใจ	56
รูปที่ 3.4 การออกแบบถังอย่างถูกสุขลักษณะ	57
รูปที่ 3.5 (a) ติดตั้งใบกวนที่ทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวน (b) ลักษณะติดตั้งใบกวนที่ทำให้ไม่เกิดน้ำวน	58

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.6 การติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพื่อช่วยป้องกันการปนเปื้อนที่อาจมาจากน้ำมันหล่อลื่น	58
รูปที่ 3.7 เครื่องกรองแบบใช้แรงดันอัดตะกอน	59
รูปที่ 3.8 เครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟคประเภทฟิล์มไหลลง	60
รูปที่ 3.9 หม้อกำเนิดไอน้ำ	60
รูปที่ 3.10 กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	61
รูปที่ 3.11 เครื่องคัดขนาดผง	62
รูปที่ 3.12 เครื่องบรรจุผง	62
รูปที่ 4.1 สมดุลมวลสาร	64
รูปที่ 4.2 สมดุลมวลของกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง	65
รูปที่ 4.3 การไหลของกระแสวัตถุดิบ (น้ำตาลมะพร้าวสด) ที่ไหลเข้า - ออกถึงทำความเข้าใจที่ 1	66
รูปที่ 4.4 การไหลเข้าของน้ำตาลมะพร้าวสด และน้ำตาลมะพร้าวใส่ไหลออกจากเครื่องกรอง	66
รูปที่ 4.5 การไหลของน้ำตาลมะพร้าวใส่ ที่ไหลเข้าและออกจากถังทำความเข้าใจที่ 2 และ 3	67
รูปที่ 4.6 การไหลเข้าและออกของน้ำตาลมะพร้าวผ่านชุดหม้อต้ม	68
รูปที่ 4.7 การไหลเข้าของน้ำตาลมะพร้าวผ่านถังกวนสารที่ 1 และ 2	69
รูปที่ 4.8 การไหลเข้าและออกของน้ำตาลมะพร้าวผ่านถังกวนสารที่ 1	70
รูปที่ 4.9 การไหลเข้าและออกของน้ำตาลมะพร้าวผ่านถังกวนสารที่ 2	71
รูปที่ 4.10 การไหลออกของน้ำตาลมะพร้าวผ่านถังกวนสารที่ 1 และ 2	72
รูปที่ 4.11 การไหลเข้าและออกของน้ำตาลมะพร้าวผ่านเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	73
รูปที่ 4.12 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง	75
รูปที่ 4.13 $NPSH_a$ เมื่อปั๊มอยู่สูงกว่าระดับของของเหลวทางด้านดูด	81
รูปที่ 4.14 $NPSH_a$ เมื่อปั๊มอยู่ต่ำกว่าระดับของของเหลวทางด้านดูด	81
รูปที่ 4.15 ปั๊มของเหลวจาก Storage Tank ไปยัง Cooling Tanks	83
รูปที่ 4.16 ถังกวนสารขนาด 100 ลิตร	92
รูปที่ 4.17 แบบจำลองเครื่องระเหยผลเชิงเดี่ยวแบบการไหลต่อเนื่องที่สภาวะคงตัว	97
รูปที่ 4.18 เครื่องระเหยแบบผลเชิงเดี่ยว	98
รูปที่ 4.19 เครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟค	101
รูปที่ 4.20 การไหลของลมร้อนสวนทางกับการไหลของวัตถุดิบ	107
รูปที่ 4.21 การไหลเข้าของน้ำและไอน้ำที่ไหลออกผ่านเครื่องกำเนิดไอน้ำ	109
รูปที่ 4.22 การควบแน่นไอน้ำที่ออกจากเครื่องระเหย	110
รูปที่ 5.1 ระบบควบคุมระดับของเหลวในถังทำความเข้าใจที่ 2 และ 3 (V-2, V-3)	116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.2 ระบบควบคุมการป้อนของเหลวออกจากถังทำความเย็นที่ 2 และ 3 (V-2, V-3)	117
รูปที่ 5.3 ระบบควบคุมของเครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟค (H-1)	118
รูปที่ 5.4 ระบบควบคุมการเข้า - ออกของเหลวของถังกวนสารที่ 1 และ 2 (V-4, V-5)	119
รูปที่ 5.5 ระบบควบคุมของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (G-2)	120
รูปที่ 5.6 แผนภาพระบบท่อและอุปกรณ์เครื่องมือวัด (PI&D)	122
ของกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง	
รูปที่ 6.1 แผนภูมิความสัมพันธ์ของแต่ละหน่วยงาน	126
รูปที่ 6.2 แผนภาพความสัมพันธ์ของแต่ละหน่วยงาน	129
รูปที่ 6.3 ออกแบบผังโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงอย่างหยาบ (a) ด้าน Top View (b) ด้าน Front View	132
รูปที่ 6.4 การออกแบบผังโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงอย่างละเอียด	133
รูปที่ 7.1 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง	138
รูปที่ ข.1 แผนภาพโมดี	160
รูปที่ ข.2 ลักษณะของใบกวนและความสัมพันธ์ของใบกวน	161
รูปที่ ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง N_p และ N_{Re}	162
รูปที่ ข.4 ตัวประกอบผิว	163

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการ เหตุผล และที่มาของปัญหา

การผลิตน้ำตาลมะพร้าวมีการผลิตแบบดั้งเดิมจากภูมิปัญญาท้องถิ่นของคนไทยที่พบได้ทางภาคใต้ ภาคกลางแถบปากแม่น้ำเจ้าพระยา และภาคตะวันออก ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีสภาพเหมาะสมในการปลูกมะพร้าว โดยเป็นการทำน้ำตาลมะพร้าวจากวงตาล หรือจั่นมะพร้าว หรือช่ออ่อนของดอกมะพร้าว น้ำตาลมะพร้าวถูกนำมาเคี่ยวจนมีลักษณะเป็นก้อนแข็ง นิยมใช้ในการปรุงอาหารไทยทั้งคาวและหวาน มีรายงานสถานการณ์ผลิตมะพร้าวของโลก ส่วนใหญ่ได้จากชมรมมะพร้าวแห่งประเทศไทยและแปซิฟิกซึ่งมีสมาชิก 12 ประเทศ รวมทั้งประเทศไทยว่าเป็นกลุ่มประเทศที่ผลิตมะพร้าวมากที่สุดในโลก คือประมาณ 85% ของผลผลิตทั่วโลก โดยมีประเทศฟิลิปปินส์ปลูกมะพร้าวมากเป็นอันดับ 1 คือ 19.50 ล้านไร่ อันดับ 2 ได้แก่ประเทศ อินโดนีเซีย 15.32 ล้านไร่ และอินเดียประมาณ 10.89 ล้านไร่ สำหรับประเทศไทยอยู่ในอันดับที่ 6 (Food and agriculture organization of the united nations, 2009) พบว่าในปี พ.ศ.2553 ประเทศไทยมีพื้นที่ทำสวนมะพร้าวที่ให้ผลประมาณ 1,443,439 ไร่ มีปริมาณการส่งออกน้ำตาลมะพร้าวเท่ากับ 1,778,524 กิโลกรัม ซึ่งสามารถสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับประเทศประมาณปีละแปดสิบล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) ในปัจจุบันราคาขายน้ำตาลมะพร้าวมีราคาไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภค ทำให้เกษตรกรไม่มีอำนาจต่อรองกับพ่อค้าหรือต่อรองกับผู้บริโภคได้ จึงส่งผลกระทบต่อในด้านเก็บรักษา น้ำตาลมะพร้าว ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น มีความยุ่งยากในการจัดเก็บ การผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงดด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีการผลิตที่มีประสิทธิภาพการทำแห้งสูง อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนดี เกิดการปนเปื้อนน้อยเนื่องจากเป็นระบบปิด ระยะเวลาในการทำแห้งสั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกแปรรูปเพื่อทำให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน รวมทั้งระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงดยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพที่มีค่าดัชนีไกลเซมิก (Glycemic Index, GI) ต่ำ มีผลต่อการปลดปล่อยของน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ ทำให้ร่างกายสามารถควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับน้ำตาลชนิดอื่น ๆ ที่มีค่าดัชนีไกลเซมิกสูง (วิภา, 2549) ที่โดยปกติมักส่งผลต่อการเกิดโรคอันตรายจากการรับประทานน้ำตาลที่มีค่าดัชนีไกลเซมิกสูงได้ เช่นโรคฟันผุ โรคอ้วน เบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ โรคเมรัง เป็นต้น ประกอบกับผู้บริโภคในปัจจุบันได้ตระหนักถึงความสำคัญของอาหารต่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้น กอปรกับมีรายงานเกี่ยวกับประโยชน์จากน้ำตาลมะพร้าวที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ จึงมีผู้สนใจลงทุนผลิตน้ำตาลมะพร้าวให้อยู่ในรูปแบบที่สะดวกในการนำไปใช้บริโภค สามารถขนส่ง ลำเลียง หรือเก็บรักษาได้ง่ายและนานขึ้น

ดังนั้นในโครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาการออกแบบกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงดด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) และส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาการวิเคราะห์การลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับในโครงการนี้เป็นการศึกษาในส่วนที่ 1 ศึกษาการออกแบบกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นวิธีการผลิตแบบใหม่สำหรับการผลิตน้ำตาลมะพร้าว เพื่อช่วยยกระดับการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะพร้าวให้อยู่ในระดับภาคอุตสาหกรรม สร้างมาตรฐานใหม่ในผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าว เนื่องจากการผลิตน้ำตาลมะพร้าวในปัจจุบัน ขาดมาตรฐาน มีการผลิตที่ไม่ได้คุณภาพ มักมีสารเจือปนต่าง ๆ ส่งผลต่อรสชาติ กลิ่น และเนื้อ (Texture) ของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ที่ส่งผลทำให้ผู้บริโภคขาดความมั่นใจในการเลือกซื้อเลือกบริโภค สนับสนุนเกษตรกรที่ปลูกต้นมะพร้าว สามารถกำหนดราคาที่เหมาะสมในการจัดจำหน่าย เพื่อป้องกันอำนาจการต่อรองราคาจากพ่อค้าคนกลาง รวมทั้งเป็นการส่งเสริมการบริโภคน้ำตาลมะพร้าวแก่ผู้บริโภค นอกจากนี้ในโครงการนี้ยังจะช่วยทำให้เข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนของการผลิต อุปกรณ์ เครื่องจักรที่ใช้ ระบบการควบคุมกระบวนการผลิต การวางผังโรงงาน และค่าใช้จ่ายการลงทุนเบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางการตัดสินใจในการลงทุนสร้างโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผองต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ในการศึกษาเรื่องความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวผอง ในส่วนที่ 1 มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบผังกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผองด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.2.2 เพื่อศึกษาการออกแบบระบบควบคุมกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผอง

1.2.3 เพื่อศึกษาการออกแบบผังโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผอง

1.2.4 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนสร้างโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผองเบื้องต้น

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษารูปแบบกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยในการทำผอง

1.3.2 อัตราการป้อนน้ำตาลมะพร้าวสดเข้าสู่กระบวนการผลิตเท่ากับ 1,000 ลิตร/วัน

1.3.3 การวางผังโรงงานดำเนินตามขั้นตอนของริชาร์ด มิวเตอร์ 3 ขั้นตอน คือขั้นตอนการออกแบบผังโรงงานอย่างหยาบ ขั้นตอนการออกแบบผังโรงงานอย่างละเอียด และขั้นตอนของการติดตั้งอุปกรณ์

1.3.4 วิเคราะห์ความคุ้มทุนของโครงการเบื้องต้น โดยพิจารณาการประมาณราคาที่ใช้ในการลงทุนอย่างรวดเร็ว (Rapid Cost Estimates)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบหลักการออกแบบ Process Flow - Sheet ของกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผองด้วยกรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.4.2 ได้รูปแบบของผังกระบวนการ และผังโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผองที่เหมาะสมในระดับอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.4.3 ได้รูปแบบระบบควบคุมกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง
- 1.4.4 ส่งเสริมการแปรรูปผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น
- 1.4.5 เพื่อใช้เป็นข้อมูลและแนวทางประกอบการตัดสินใจในการลงทุนสร้างโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าว สำหรับส่วนที่1 การออกแบบกระบวนการผลิตและอุปกรณ์ในโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวผง ได้ศึกษาทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจกับปัญหา และการดำเนินการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง โดยประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

2.1 กระบวนการผลิตอาหารประเภทผง

ขั้นตอนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารในแต่ละขั้นตอน จะมีวิธีการ ขั้นตอนที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุดิบแต่ละประเภทเช่น กาแฟ มีลักษณะเป็นเมล็ด อยู่ในสถานะของแข็ง นม อยู่ในสถานะของเหลว วัตถุดิบแต่ละชนิดก็มีวิธีการเก็บรักษาคุณภาพวัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิตที่แตกต่างกันไป แต่ขั้นตอนหลักของการทำแห้งแบบผง เช่น กาแฟผง นมผง ฯลฯ ที่เหมือนกันคือการทำทำความสะอาด (Cleaning) เป็นการกำจัดสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการออก เช่นใช้ตะแกรงร่อนเมล็ดกาแฟ เพื่อกรองเปลือกกาแฟ เศษหิน กิ่งไม้ที่ปะปนมา การระเหยน้ำ (Evaporation) การผสม (Mixing) และการทำแห้ง (Dehydration) โดยอุปกรณ์ เครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนนั้นสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.1.1 การกรอง (Filtration)

การกรอง เป็นปฏิบัติการแยกส่วนที่เป็นของแข็งที่ไม่ละลายในของเหลวออกจากของเหลวโดยใช้แผ่นกรอง (เช่น ผ้า, กระดาษ) หรือชั้นกรอง (เช่น ชั้นกรวด, ชั้นทราย) แผ่นหรือชั้นที่ทำหน้าที่กรองนี้มีชื่อเรียกว่า ตัวกรอง (Filter Medium) และของแข็งที่สะสมติดอยู่บนตัวกรองนี้มีชื่อเรียกว่า เค้กกรอง (Filter Cake) ส่วนของเหลวที่ไหลผ่านตัวกรองออกมาเรียกว่า ของเหลวกรองหรือน้ำกรอง (Filtrate) (มาฤดี, 2011) โดยเครื่องกรองที่ใช้ในอุตสาหกรรมแบ่งตามลักษณะการดำเนินการได้ 2 ชนิดคือ

2.1.1.1 เครื่องกรองแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch)

เป็นการกรองที่ต้องหยุดกรองเป็นระยะ ๆ เพื่อแยกตะกอนออกจากเครื่อง แล้วจึงเริ่มการกรองใหม่ เครื่องกรองประเภทนี้ได้แก่ เครื่องกรองแบบอัด (Filter Press) และเครื่องกรองแบบใบ (Leaf Filter)

- เครื่องกรองแบบใช้แรงอัดตะกอน (Filter Press)

เป็นวิธีการแยกตะกอนออกจากสารละลาย ที่มี Plate และ Frame เป็นส่วนประกอบ ใช้ผ้ากรอง (Filter Medium) วางเรียงสลับระหว่างแผ่นรองรับ (Filter Plate) แล้วให้สารละลายขุนที่ต้องการกรองไหลเข้าเครื่องกรองโดยใช้ปั๊มเป็นแรงดัน อัดเข้าไประหว่างแผ่นรองรับ ตะกอน (Cake) จะถูกกักอยู่ระหว่างผ้ากรอง ส่วนสารละลายใส (Filtrate) จะซึมผ่านผ้ากรองออกไป เหลือแต่กากตะกอนซึ่งมีลักษณะค่อนข้างแข็ง เมื่อตะกอนเต็มแน่นจะต้องหยุดการกรอง ชั้บแผ่นรองรับให้ห่างออกจากกัน เพื่อนำกากตะกอนออกจากผ้ากรอง เป็นวิธีการกรองแบบ

ง่าย ราคาถูก และมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน แต่มีข้อเสีย คือ เปลืองผ้ากรอง การล้างตะกอนยุ่งยาก ต้องใช้แรงงาน (Labor Cost) ในการควบคุม

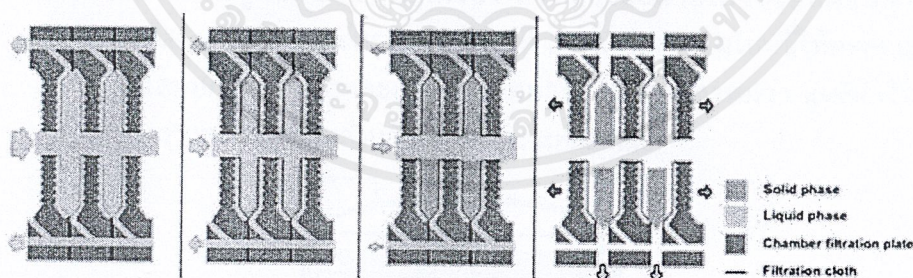
เครื่องกรองแบบอัด สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

1. Chamber Filter Press เป็นเครื่อง Filter Press พื้นฐานที่พัฒนามาจากระบบเดิมที่เป็น Plate and Frame สามารถใช้งานได้ดีในการกรอง และการเปิดทั้งกากตะกอน ลักษณะของแผ่นกรองชนิด Chamber มีลักษณะด้านหน้า 2 ด้าน เว้าเข้าภายใน เมื่อนำแผ่นมาประกบกันตามแนวนอน จะเกิดเป็นห้องขึ้นภายในเรียกว่า Chamber การกรองคือการใช้ปั๊มอัดของเหลวเข้าไปให้เต็ม Chamber และอัดเข้าไปอีกเพื่อไล่ของเหลวออก และให้กากยังคงค้างอยู่ใน Chamber ความดันสุดท้ายที่ตั้งไว้จะทำให้ปริมาณของแข็งในกากตะกอนมีมากกว่าปริมาณน้ำ ซึ่งเรียกว่าตะกอนแห้ง ดังรูปที่ 2.1 ปริมาณของน้ำที่ยังคงค้างในตะกอนมีตั้งแต่ 70 - 30 % โดยน้ำหนักของกากตะกอนทั้งหมด ขึ้นกับชนิดของตะกอนว่า จะมีโครงสร้างดูดซับน้ำได้ดีหรือไม่ การกรองด้วยเครื่องชนิด Chamber Filter Press มีวิธีที่สามารถทำให้ได้ปริมาณของแข็งในตะกอนเพิ่มขึ้น โดย

1.1 เพิ่มความดันการกรอง ซึ่งปกติจะใช้ความดันที่ 6 - 7 bar เมื่อต้องการให้แห้งเพิ่มขึ้นจะต้องใช้ความดันการกรองที่ 10 - 15 bar ในงานบางประเภท เช่นงานประเภท Compound Clay จะใช้ความดันในช่วง 25 bar

1.2 เพิ่มเวลาการกรองให้มากขึ้น ปกติเป็น 1 - 4 ชั่วโมง

1.3 มีกลไกการเป่าลมเพื่อไล่ของเหลว ออกจากกากตะกอน ซึ่งเรียกว่า Cake Blow และมีกลไกการเป่าลมไล่กากตะกอนที่ไม่สามารถกรองได้ ออกจากแกนกลาง หรือ ช่อง Feed Intel เรียกว่า Core Blow



รูปที่ 2.1 การกรองใช้แรงอัดตะกอนแบบ Chamber

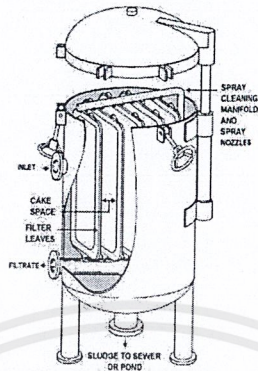
ที่มา: Envites. (2012)

2. Membrane Filter Press เป็นเครื่องอัดตะกอนที่ใช้แผ่นกรองทั้งหมดเป็นชนิด Membrane หรือ Diaphragm ลักษณะของแผ่นกรองชนิด Membrane คือมี Membrane อีกแผ่นหนึ่งวางอยู่บนหน้าของแผ่นกรอง เพื่อทำหน้าที่บีบ (Squeezing) กากตะกอนให้มีความดันสูงขึ้น เพื่อไล่ของเหลวออกจากกากตะกอน ดังรูปที่ 2.2 ข้อดีของแผ่นกรองชนิด Membrane อีกประการหนึ่งคือ สามารถล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Shell and Leaf Pressure Filter

มีส่วนที่เรียกว่า Filter Leaf ซึ่งประกอบด้วย Wire Mesh Screen มีผ้ากรองปกคลุมอยู่ด้านนอก Filter Leaf จะวางอยู่ในท่อหรือ Chamber ทรงกระบอกซึ่งอัดความดัน ดังรูปที่ 2.4

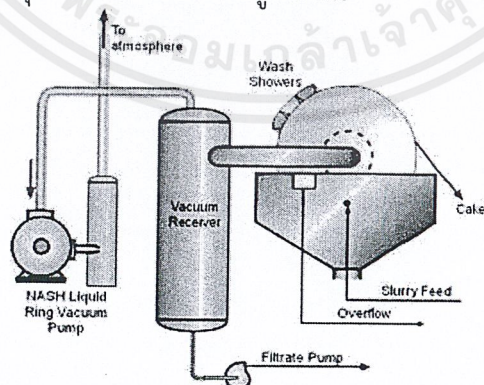


รูปที่ 2.4 เครื่องกรองแบบ Shell and Leaf Pressure
ที่มา: Dicalite. (2012)

2.1.1.2 เครื่องกรองแบบต่อเนื่อง (Continuous)

- Rotary Drum Vacuum Filter

ลักษณะเป็นทรงกระบอกวางในแนวนอน มีแกนหมุน ทรงกระบอกนี้มีส่วนที่จะให้สารละลายไหลผ่านเข้าไปด้านใน ผิวรอบ ๆ ทรงกระบอกเป็นผ้ากรอง จุ่มลงในสารละลายที่ต้องการกรองบางส่วน Drum หมุนด้วยความเร็วรอบ 0.1 – 2 รอบต่อนาที ลักษณะการกรองเป็นแบบสุญญากาศ (Vacuum) ลักษณะการทำงานคือ ช่วงแรกจุ่มลงในสารละลายดูดเอาสารละลายขึ้นขึ้น โดยส่วนของสารละลายไหลผ่านเข้าด้านในท่อ (Filter Pipe) ส่วนตะกอนติดอยู่บนผิวทรงกระบอก เมื่อผ่านขึ้นเป็นขั้นตอนการดูดเอาตะกอนออกโดยใช้ใบมีด (Scraper Knife) แล้วหมุนกลับไปขั้นตอนการจุ่มสารละลายใหม่ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เครื่องกรองแบบ Rotary Drum Vacuum
ที่มา: Nash. (2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการกรอง สิ่งที่ต้องการได้คือของเหลวที่สะอาด และอัตราการกรองที่เร็วมากพอ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว มีอยู่บ่อยครั้งที่ต้องเพิ่มประสิทธิภาพของการกรองโดยการเติม สารรวมกลุ่ม (Coagulant) และสารช่วยกรอง (Filter Aid)

2.1.2 การระเหยน้ำ (Evaporation)

การระเหย หรือการทำให้เข้มข้นโดยการต้ม คือ การถ่ายโอนความร้อนไปยังของเหลวที่กำลังเดือด จนของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นไอ เป็นการกำจัดน้ำออกจากอาหารเหลวโดยการต้ม เอน้ำออกในลักษณะที่เป็นไอ การระเหยเป็นการเพิ่มสัดส่วนของแข็งในอาหาร และเป็นการคงสภาพอาหารโดยการลดกัมมันตภาพน้ำ (Water Activity) จึงทำให้น้ำหนัก และปริมาตรที่ได้มีขนาดลดลง เป็นการประหยัดพลังงานทั้งในแง่ลดการเก็บ การขนส่ง และกระจายสินค้า แต่การระเหยมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมากกว่าการทำให้เข้มข้นโดยวิธีอื่น เช่น การใช้เยื่อ (Membrane) และการทำเยือกแข็ง แต่สามารถทำให้อาหารเข้มข้นได้สูงกว่า การระเหยสามารถทำให้อาหารมีความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 80

- รูปแบบการระเหยแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ
 1. การปฏิบัติการผลเชิงเดี่ยว (Single Effect Operation)
 2. การปฏิบัติการผลหลายเชิง (Multiple Effect Operation)

ในเครื่องระเหยผลเชิงเดี่ยว (Single Effect Evaporator) ไอจากของเหลวที่กำลังเดือดควบแน่น และถูกทิ้งไป วิธีนี้เรียกว่า เครื่องระเหยผลเชิงเดี่ยว แม้ว่าจะเป็นวิธีที่ง่าย และเป็นการใช้ไอน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากในการระเหยน้ำ 1 kg จากสารละลายมีความต้องการใช้ไอน้ำ 1 ถึง 1.3 kg ถ้าไอน้ำจากเครื่องระเหยที่หนึ่ง ถูกป้อนเข้าไปในช่องป้อนไอน้ำเครื่องระเหยเครื่องที่สอง และไอน้ำจากเครื่องระเหยเครื่องที่สองถูกส่งไปที่เครื่องควบแน่น การปฏิบัติการแบบนี้ เรียกว่า ผลเชิงคู่ (Double Effect) ความร้อนจากไอน้ำเริ่มต้น ถูกนำมาใช้ในเครื่องระเหยเครื่องที่สอง และการระเหยที่เกิดจากมวลของไอน้ำที่ป้อนเข้ายังเครื่องระเหยเครื่องแรก มีผลประมาณสองเท่าของของเดิม การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องระเหย สามารถทำได้ด้วยวิธีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยทั่วไป การเพิ่มการระเหยต่อกิโลกรัมของไอน้ำ โดยใช้เครื่องระเหยนำมาเรียงต่อกันระหว่างแหล่งจ่ายไอน้ำ และเครื่องควบแน่นเรียกว่า การระเหยผลหลายเชิง (Multiple Effect Evaporation)

- แบบของเครื่องระเหยที่ใช้ท่อไอน้ำร้อน และเป็นที่ยอมรับใช้กันมากที่สุด แบ่งออกเป็น 6 แบบ คือ
 1. เครื่องระเหยท่อยาวแนวราบ (Horizontal - Tube Evaporator)
 2. เครื่องระเหยท่อสั้นแนวตั้ง (Short - Tube Vertical Evaporator)
 3. เครื่องระเหยท่อยาวแนวตั้ง (Long - Tube Vertical Evaporator)
 4. เครื่องระเหยชนิดใช้แรงทำให้เกิดการไหลเวียน (Forced - Circulation Evaporator)
 5. เครื่องระเหยชนิดฟิล์มไหลลง (Falling - Film Evaporator)
 6. เครื่องระเหยฟิล์มปั่นป่วน (Turbulent - Film Evaporator)

โดยสามารถเลือกประเภทของเครื่องระเหยให้เหมาะสมต่อการใช้งานได้โดยใช้หลักเกณฑ์ในการเลือกเครื่องระเหยตามตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 หลักเกณฑ์การเลือกเครื่องระเหย
ที่มา: วิวัฒน์ และคณะ (2543)

ประเภทของเครื่องระเหย	ราคา	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม		ความเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมในการใช้กับสารละลาย				
		สารละลายเจือจาง	สารละลายความหนืดสูง	สารละลายเจือจาง	สารละลายหนืดมาก	มีฟอง	ตกผลึก	ไวต่อความร้อน
แบบท่อยาวแนวราบ	ถูกที่สุด	ดีมาก	เลว	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม	ไม่เหมาะสม	ไม่เหมาะสม	ไม่เหมาะสม
แบบท่อสั้นแนวตั้ง	ถูกที่สุด	ดีมาก	เลว	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม	ไม่เหมาะสม	เหมาะสม	ดีพอใช้
แบบใช้แรงโดยทำให้เกิดการไหลเวียน	ถูก	ดี	ดีมาก	เหมาะสม	เหมาะสม	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม	ดีพอใช้
แบบฟิล์มไหลลง	ถูก	ดีมาก	ดี	เหมาะสม	เหมาะสม	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม	ดีมาก
แบบฟิล์มปั่นป่วน	แพงที่สุด	ดี	ดี	เหมาะสม	เหมาะสม	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม	ดีมาก

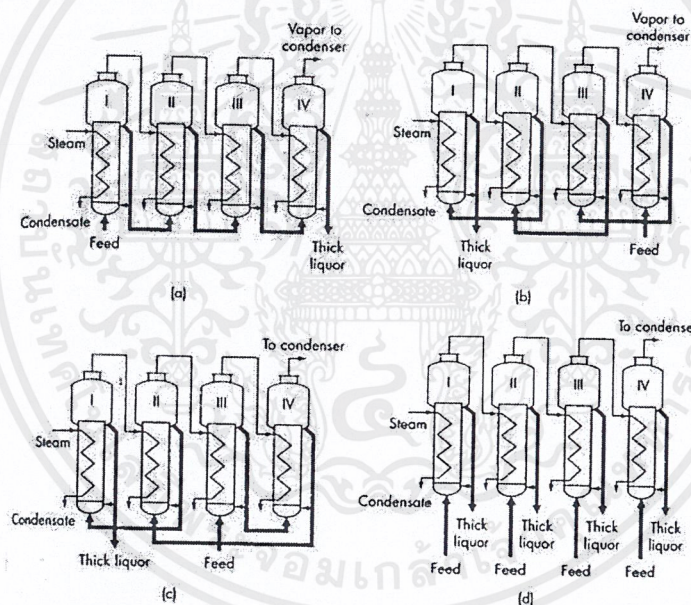
• วิธีการป้อนสาร

1. การป้อนไปข้างหน้า (Forward Feed) คือ วิธีที่ใช้ในการป้อนสารเข้าเครื่องระเหยผลหลายเชิง ทำได้โดยการบีบของเหลวที่เจือจาง (Thin Liquid) เข้าสู่เอฟเฟกต์ที่หนึ่งและส่งต่อไปยังเอฟเฟกต์อื่นๆ ต่อไป ระบบการป้อนสารที่แสดงในรูปที่ 2.6 (a) เรียกว่า ความเข้มข้นของของเหลวเพิ่มขึ้นจากเอฟเฟกต์แรกจนถึงเอฟเฟกต์สุดท้าย รูปแบบการไหลของของเหลวแบบนี้ เป็นรูปแบบที่ง่าย การไหลรูปแบบนี้ต้องการบีบช่วยสำหรับการป้อนสารละลายที่เจือจางเข้าสู่เอฟเฟกต์ที่หนึ่ง เนื่องจากว่า โดยปกติเอฟเฟกต์นี้ มีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ และใช้บีบในการเอาของเหลวที่เข้มข้นออกจากเอฟเฟกต์สุดท้าย การถ่ายโอนความร้อนจากเอฟเฟกต์หนึ่งสู่เอฟเฟกต์หนึ่งสามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้บีบช่วยแต่อย่างใด เนื่องจากเป็นการไหลในทิศทางที่ความดันภายในเครื่องระเหยลดลง และมีวาล์วควบคุมในทิศทางของการถ่ายโอนเท่าที่จำเป็นเท่านั้น การป้อนไปข้างหน้ามีข้อดี คือ เป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายต่ำ ใช้งานง่าย ไม่ต้องใช้บีบช่วยในการป้อนของเหลวระหว่างเครื่องระเหย แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ มีอัตราการถ่ายโอนความร้อนต่ำ เมื่อของเหลวมีความหนืดสูง ทำให้อัตราการระเหยลดลงในเอฟเฟกต์ต่อไป
2. การป้อนย้อนกลับ (Backward Feed) วิธีนี้ทำโดยสารละลายที่เจือจาง ถูกป้อนเข้าไปในเอฟเฟกต์สุดท้าย และหลังจากนั้นจะบีบให้สารละลายไหลผ่านต่อมาจนถึงเอฟเฟกต์ที่หนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (b) วิธีการป้อนแบบนี้ต้องใช้บีบช่วยระหว่างเอฟเฟกต์แต่ละคู่ เนื่องจากเป็นการไหลจากบริเวณที่มีความดันต่ำ ไปยังบริเวณที่มีความดันสูง การป้อนย้อนกลับจะให้ความจุที่สูงกว่าการป้อนไปข้างหน้า เมื่อของเหลวเข้มข้นมีความหนืดสูงขึ้น แต่อาจมีความประหยัดต่ำกว่าการป้อนไปข้างหน้า เมื่อของเหลวที่ป้อนมีอุณหภูมิต่ำ การป้อนย้อนกลับมีข้อดี คือ ไม่ต้องใช้บีบช่วยป้อนของเหลวในตอนแรก และมีอัตราการถ่ายโอนความร้อนสูง เนื่องจากไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายที่ป้อน แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ต้องใช้บีบช่วยในระหว่างเครื่องระเหยในแต่ละเอฟเฟกต์ และสารละลายที่เข้มข้นขึ้นเคลื่อนที่ได้ช้า ทำให้อาจเกิดตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การป้อนแบบผสม (Mixed Feed) เป็นการผสมผสานระหว่างการป้อนไปข้างหน้า และการป้อนย้อนกลับ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (c) ของเหลวเจือจางถูกป้อนเข้าที่เอฟเฟกต์ที่สาม และไหลในแบบการป้อนไปข้างหน้าไปยังเอฟเฟกต์ที่สี่ของระบบที่ต่อเรียงกันแบบอนุกรม จากนั้นของเหลวถูกปั๊มกลับมายังเอฟเฟกต์ที่สอง และเอฟเฟกต์ที่หนึ่ง ตามลำดับ เพื่อให้เอฟเฟกต์สุดท้ายที่ผลผลิตจะถูกปล่อยออก (เอฟเฟกต์ที่หนึ่ง) ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นมากที่สุด ในการป้อนย้อนกลับอาจต้องใช้ปั๊มช่วย และทำให้เกิดการระเหยในเอฟเฟกต์สุดท้ายที่อุณหภูมิสูงสุด การป้อนแบบผสมมีข้อดี คือ ใช้งานง่าย เหมาะกับสารละลายที่มีความหนืดสูง แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ เครื่องมีความสลับซับซ้อน และมีราคาแพง

4. การป้อนแบบ Paralled (Paralled Feed) สารละลายถูกแยกป้อนเข้าสู่หม้อระเหยพร้อมกันแต่ละใบ (แบบป้อนขนาน) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (d) เป็นแบบที่ใช้ในการตกผลึกเกลือและเหมาะสำหรับใช้ผลิตสารละลายเข้มข้นตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยใช้หม้อระเหยแบบ 2 เฟส



รูปที่ 2.6 แบบของการไหลของเหลวในเครื่องระเหยสามเอฟเฟกต์
ที่มา: McCabe & et al. (2005)

2.1.3 การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งเป็นขั้นตอนของการดองน้ำออกจากอาหาร วัตถุประสงค์หลักในการทำแห้งน้ำตาลมะพร้าวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ มีความสะดวกในการนำมาใช้บริโภค และเกิดเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค หลักการทำแห้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงนั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เป็นต้น แต่วิธีที่เหมาะสมต่อการทำแห้งให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นผงควรใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากเป็นวิธีการทำแห้งในระบบปิด สามารถลดอัตราการเสี่ยงต่อการปนเปื้อน และง่ายต่อการควบคุมกระบวนการ

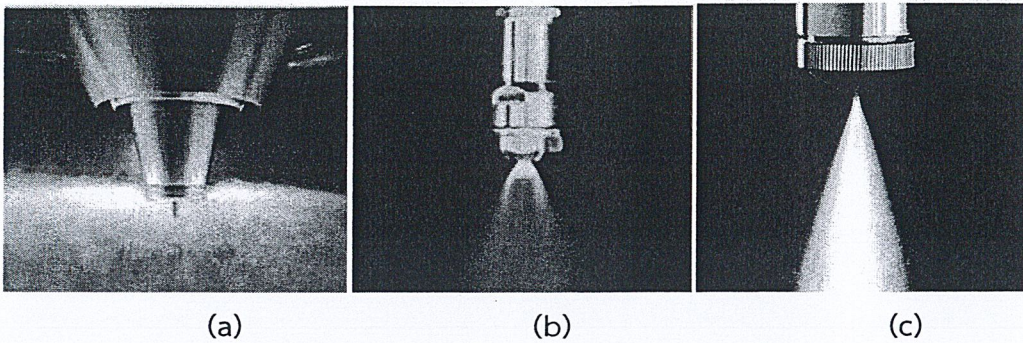
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพราะมีราคาถูกและสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับสารประกอบอื่น ๆ ได้หลายชนิด ทำให้สะดวกต่อการเพิ่มผลผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นผง (Dziezak, 1988) การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการทำแห้งโดยฉีดพ่นของเหลวให้เป็นหยดละออง โดยใช้ลมร้อนเพื่อทำให้หยดอนุภาคแห้งและกลายเป็นผงในเวลารวดเร็ว กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นมีความสำคัญมากต่อประสิทธิภาพการทำผลิตภัณฑ์ให้เป็นผง ดังนั้นหลักในการพิจารณาเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยสามารถแบ่งออกเป็นหลักการเลือกหัวฉีด และหลักการเลือกรูปแบบการไหลของสารละลายและอากาศร้อนในการทำแห้ง

- หัวฉีดที่ใช้พ่นของเหลวในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Atomization Stage)

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่สำคัญมาก เนื่องจากทำให้ของเหลวเกิดพื้นที่ผิวในการระเหย ถ้ามีพื้นที่ผิวสูงก็จะสามารถระเหยน้ำออกจากอาหารได้รวดเร็ว นอกจากนี้การทำให้เป็นอนุภาคเล็ก ๆ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเฉพาะทั้งขนาด รูปร่าง ตลอดจนความหนาแน่น เนื่องจากของเหลวมีขนาดเล็กลง ซึ่งจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายความร้อนได้มาก ทำให้เกิดการถ่ายความร้อน และการถ่ายเทมวลอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการเลือกหัวฉีด (Atomizer) ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อให้เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าว จึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญส่วนหนึ่งซึ่งช่วยให้การทำแห้งเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และได้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี หัวฉีดที่ใช้กับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยแบ่งเป็น 3 ชนิดดังนี้

1. หัวฉีดแบบหมุน (Rotary Atomizer) ดังรูปที่ 2.7 (a) ของเหลวที่สามารถใช้ได้อาจเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันก็ได้ ลักษณะของหัวฉีดคล้ายจานหมุน อาหารจะถูกส่งไปยังศูนย์กลางของวงล้อที่หมุนด้วยความเร็วสูง ทำให้อาหารเหลวกระจายเป็นแผ่นบาง ๆ บนผิวของล้อ แล้วถูกเหวี่ยงออกจากจานหมุนเป็นละอองฝอยขนาดเล็กมากตั้งแต่ 30 - 120 μm ประสิทธิภาพของหัวฉีดแบบนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของเหลวที่นำมาทำแห้งด้วย เช่น ความเข้มข้น ความหนืด อุณหภูมิของของเหลว เป็นต้น
2. หัวฉีดแบบแรงดัน (Pressure Nozzle) ดังรูปที่ 2.7 (b) เป็นหัวฉีดที่ใช้สำหรับการทำแห้งที่มีกำลังการผลิตมาก ๆ จะให้ละอองของเหลวที่มีรูปร่างสม่ำเสมอ (Uniform) ของเหลวจะถูกทำให้หมุนรอบแกนด้วยความเร็วสูงมากภายใต้ความดัน ซึ่งความดันที่ใช้อาจสูงถึง 1000 lb/in^2 ขนาดของอนุภาคที่ได้มีตั้งแต่ 120 - 250 μm ขึ้นกับความดัน และขนาดของหัวฉีดเหมาะสำหรับอาหารเหลวที่มีความหนืดสูง
3. หัวฉีดแบบ Two - Fluid Nozzle ดังรูปที่ 2.7 (c) ใช้กับการทำแห้งที่ต้องการอัตราการทำแห้งต่ำ ของเหลวจะกลายเป็นละอองฝอย เนื่องจากถูกอัดด้วยอากาศภายใต้ความดัน หัวฉีดแบบนี้ประกอบด้วย ทางเข้าของอากาศ และทางเข้าของของเหลว ของเหลวจะถูกพ่นออกมาเป็นลำเล็ก ๆ เมื่อกระทบกับอากาศที่มีความดันสูง จะทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นละอองมาก ความดันที่ใช้อประมาณ 5 - 60 lb/in^2

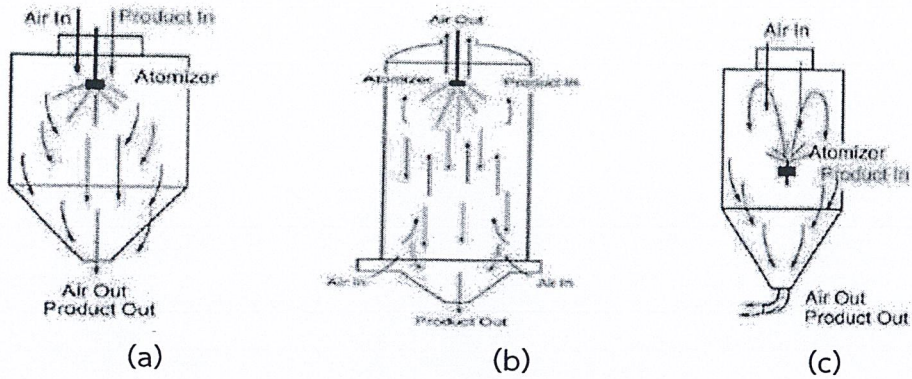


รูปที่ 2.7 หัวฉีดที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย (a) หัวฉีดแบบหมุน (Rotary Atomizer), (b) หัวฉีดแบบแรงดัน (Pressure Nozzle) และ (c) หัวฉีดแบบ Two - Fluid Nozzle
ที่มา: Gohel M.C. & et al. (2012)

- การส่งผ่านความร้อนและมวลในห้องอบแห้ง (Spray - Air Contact Stage)

ในขั้นตอนนี้หยดของเหลวจะสัมผัสกับอากาศร้อน เพื่อให้ น้ำในอาหารได้รับความร้อนทำให้เกิดการระเหยออกไป การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงมาก ถ้าทิศทางการไหลของอากาศเหมาะสมก็จะทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับจุดประสงค์ของการทำแห้ง คุณสมบัติของสารละลาย รวมทั้งคุณภาพ และลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การสัมผัสระหว่างหยดของเหลวและอากาศร้อนแบ่งเป็น 3 แบบ ดังรูปที่ 2.8

1. การไหลในทิศทางเดียวกัน (Co - Current Flow) ดังรูปที่ 2.8 (a) อาหารจะถูกพ่นฝอยในทิศทางเดียวกับอากาศร้อน วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อน เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำได้รวดเร็ว อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลออก
2. การไหลสวนทางกัน (Counter - Current Flow) ดังรูปที่ 2.8 (b) อาหารเหลวที่ถูกพ่นฝอยและอากาศร้อนจะไหลในทิศทางตรงกันข้าม เริ่มจากหยดของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำแล้วมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเท่ากับอุณหภูมิอากาศร้อน ลักษณะแบบนี้ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูง อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลออก
3. การไหลแบบผสมกัน (Mixed Flow) ดังรูปที่ 2.8 (c) สารละลายและอากาศร้อนจะมีทั้งไหลไปในทางเดียวกันและสวนทางพร้อมๆ กัน อากาศร้อนที่ใช้ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้จากความร้อนสองประเภทคือ การทำให้ร้อนโดยตรง และโดยทางอ้อม ประเภทแรกเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อากาศร้อนแล้วนำไปใช้โดยตรง หรือได้จากขดลวดไฟฟ้าให้ร้อนกับอากาศ ข้อดีคือมีการสูญเสียความร้อนน้อย ส่วนประเภททำความร้อนโดยทางอ้อมได้จากการให้อากาศไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากไอน้ำซึ่งจะมีการสูญเสียความร้อนมาก



รูปที่ 2.8 รูปแบบการไหลของสารละลายและอากาศร้อนในการทำแห้งแบบพ่นฝอย (a) การไหลในทิศทางเดียวกัน (b) การไหลสวนทางกัน และ (c) การไหลแบบผสมกัน

ที่มา: Gohel M.C. & et al. (2012)

2.2 การออกแบบกระบวนการผลิต

การออกแบบกระบวนการผลิต (Process Design) เป็นการรู้จักวางแผนจัดตั้งขั้นตอนและรู้จักเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ วิธีกระบวนการผลิตที่เป็นไปได้ เพื่อทำตามความต้องการนั้นโดยให้สอดคล้องกับลักษณะรูปแบบ คุณสมบัติและวัสดุแต่ละชนิดตามความคิดสร้างสรรค์ การออกแบบตั้งแต่เริ่มต้นกิจกรรมบางครั้งเรียกว่าการสังเคราะห์กระบวนการ ซึ่งเหมาะสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยใช้ความคิด ความสร้างสรรค์ หรือใช้กระบวนการผลิตเริ่มต้นแบบมาเป็นแบบอย่าง แล้วนำมาวิเคราะห์ประเมินผล และคัดเลือก เพื่อให้กระบวนการผลิตไหลอย่างต่อเนื่อง (Continue Flow) เกิดประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด หรือให้ได้ตามข้อกำหนดจากเจ้าของธุรกิจ (Sinnott, 2005)

2.2.1 ชนิดของกระบวนการผลิต

2.2.1.1 กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Processes) ได้รับการออกแบบเพื่อดำเนินการ 24 ชั่วโมงต่อวัน, 7 วันต่อสัปดาห์หรือดำเนินการตลอดทั้งปี บางครั้งอาจมีการหยุดทำงานเนื่องจากตรวจสอบสภาพหรือซ่อมบำรุงรักษาและสำหรับบางกระบวนการผลิตที่ต้องการฟื้นฟูสภาพใหม่ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น อัตราการดำเนินการคือเปอร์เซ็นต์ความสามารถการทำงานเป็นชั่วโมงต่อหนึ่งปีที่โรงงานดำเนินการผลิต โดยปกติจะอยู่ระหว่าง 90 – 95 %

2.2.1.2 กระบวนการผลิตแบบครั้งต่อครั้ง (Batch Processes) ถูกออกแบบมาใช้เป็นระยะๆ เป็นบางส่วนหรือทั้งหมดของหน่วยงานการผลิตที่มีอยู่

โรงงานที่มีขนาดใหญ่ควรใช้กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง เป็นกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพในการผลิตสูง สามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้สูง และมีค่าใช้จ่ายที่ประหยัดมากเมื่อมีปริมาณการผลิตที่สูงขึ้น ส่วนกระบวนการผลิตแบบครั้งต่อครั้งจะมีความยืดหยุ่นในการผลิตสามารถผลิตสินค้าที่มีความหลากหลาย เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตมักจะสามารภใช้สำหรับการดำเนินงานที่หลากหลายหน่วย แต่ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบต่อเนื่อง เป็นกระบวนการผลิตที่ง่ายต่อการทำความสะอาดและดูแลรักษาซ่อมบำรุง โรงงานที่ใช้กระบวนการผลิตแบบครั้งต่อครั้ง สามารถใช้เงินลงทุนต่ำเมื่อปริมาณการผลิตต่ำไปด้วย แต่กระบวนการผลิตแบบนี้จะมีต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) สูงเมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยปกติโรงงานทั่วไปจะใช้กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องและแบบครั้งต่อครั้งรวมกัน

2.2.2 ขั้นตอนการออกแบบกระบวนการผลิต

วิธีการออกแบบกระบวนการผลิต ขั้นตอนแรกทำการเก็บรวบรวมข้อมูลข้อเท็จจริงทั้งหมดที่เกี่ยวข้องและข้อมูลที่เป็นจำเป็นสำหรับการออกแบบกระบวนการ บอกรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตทั้งหมด ร่างข้อมูลที่ได้อย่างละเอียด แบ่งออกเป็นขั้นตอนวัตถุประสงค์ และข้อจำกัดที่สำคัญสำหรับแต่ละขั้นตอน สำหรับการวิเคราะห์และการประเมินผลการเลือกแบบส่วนใหญ่จะต้องอาศัยประสบการณ์ แผนภูมิการไหล (Flow - Sheetting) เป็นส่วนสำคัญในการออกแบบกระบวนการ แสดงให้เห็นถึงการจัดเรียงอุปกรณ์ที่จะดำเนินการกระบวนการนั้น การเชื่อมต่อกระแสการไหลของอัตราและองค์ประกอบต่าง ๆ รวมทั้งสภาพการดำเนินงาน มักจะใช้เป็นรูปแบบแปลนเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการออกแบบเครื่องมือ อุปกรณ์และการวางผังโรงงาน (Peters & Timmerhause, 1991) นอกจากนี้ยังจะถูกจัดทำเป็นคู่มือเพื่อใช้ประกอบการฝึกอบรม ในระหว่างการดำเนินการเริ่มต้น การแสดงสมดุลมวลและสมดุลพลังงานของสาร รวมทั้งการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในแต่ละอุปกรณ์การผลิตให้เหมาะสม

2.2.3 การดำเนินการในขั้นตอนกระบวนการผลิต

องค์ประกอบพื้นฐานกระบวนการผลิตอาหารสามารถจำแนกขั้นตอนกระบวนการผลิตเพื่อการออกแบบได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจัดเก็บวัตถุดิบ เป็นวัตถุดิบที่ได้จากเกษตรกรหรือพ่อค้า นำมาจัดเก็บก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดเก็บอาจเป็นเวลาหลายชั่วโมง หลายวัน หรือกระทั่งเป็นสัปดาห์ ดังนั้นการจัดเก็บควรมีวิธีการจัดเก็บขึ้นอยู่กับวัตถุดิบนั้น ๆ ให้อยู่ในสถานะที่เหมาะสมต่อการผลิต การจัดเก็บที่ดีควรลดความผันผวนและการหยุดชะงักในการจัดหา แม้วัตถุดิบที่ได้มาจากโรงงานที่อยู่ติดกัน ก็ต้องมีวิธีการที่ดีเพื่อรับประกันการส่งมอบให้อยู่บนความต่อเนื่องของอุปทาน

ขั้นตอนที่ 2 การจัดเตรียมป้อนวัตถุดิบ การเตรียมความพร้อมของวัตถุดิบ โดยการทำให้บริสุทธิ์ (การกรอง, ล้าง) หรือทำให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อถูกป้อนไปยังขั้นตอนกระบวนการผลิต

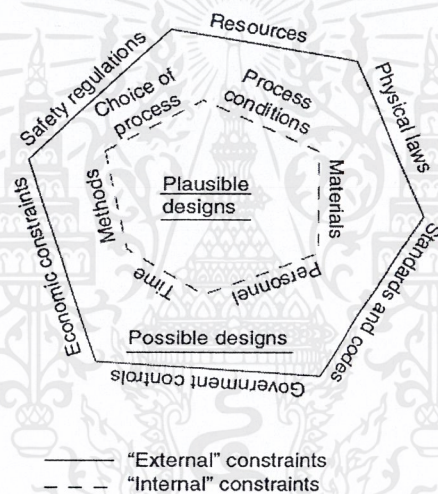
ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการผลิต เป็นขั้นตอนกระบวนการผลิตที่มีวิธีการในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อแปรรูปวัตถุดิบไปเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนการผลิตแต่ละขั้นตอนอาจมีผลพลอยได้นอกจากนี้ยังจะทำให้ผลิตภัณฑ์ (สารสัมพันธ์) เกิดปฏิกิริยาเนื่องจากผลข้างเคียงที่ใช้สารเจือปนในระหว่างขั้นตอนการผลิต

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ เป็นขั้นตอนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ ให้เป็นไปตามมาตรฐานสินค้าที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 5 การเก็บรักษาสินค้า สินค้าคงคลังของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปบางอย่างจะต้องมีวิธีการเลือกใช้วัสดุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์และวิธีการออกแบบห้องเก็บผลิตภัณฑ์เพื่อรอจัดจำหน่ายต่อไปที่ดีและเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์นั้น ๆ จะช่วยลดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์และยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาให้ยาวนานได้

2.2.4 ข้อกำหนดการออกแบบ

หลักเกณฑ์ในการการเลือกกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ซึ่งเป็นข้อกำหนดจำนวนในการออกแบบที่เป็นไปได้ ดังรูปที่ 2.9 โดยข้อกำหนดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ข้อกำหนดภายนอกและข้อกำหนดภายใน ข้อกำหนดภายนอกเป็นข้อกำหนดที่อยู่นอกอิทธิพลของนักออกแบบ ได้แก่ การควบคุมจากรัฐบาล, ข้อกำหนดทางเศรษฐกิจ, ข้อบังคับด้านความปลอดภัย, ทรัพยากร, กฎหมายทางกายภาพ และมาตรฐานการผลิต ส่วนข้อกำหนดภายในเป็นข้อกำหนดที่อยู่ในการควบคุมของนักออกแบบ ได้แก่ วัสดุ-อุปกรณ์, สภาวะกระบวนการ, ทางเลือกของกระบวนการ, วิธีการ และเวลา (Sinnott, 2005)



รูปที่ 2.9 ข้อกำหนดในการออกแบบ

ที่มา: Peters, M.S. & Timmerhaus, K.D. (1991).

เมื่อข้อมูลที่ได้รับมีการเก็บรวบรวมและออกแบบการทำงานของกระบวนการผลิตได้แล้ว ก็สามารถเริ่มต้นในการกำหนดขนาดของอุปกรณ์, การคัดเลือกอุปกรณ์ - เครื่องมือ โดยใช้ข้อมูลของแต่ละชนิดมาประกอบการตัดสินใจในการกำหนดเลือกใช้เพื่อให้ได้อุปกรณ์และเครื่องมือที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

2.2.5 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตให้ถูกสุขลักษณะ

การออกแบบอุปกรณ์ เครื่องจักรอย่างถูกสุขลักษณะสำหรับอุตสาหกรรมอาหารจะแตกต่างจากการออกแบบโดยทั่วไปในแง่ของการรักษาความสะอาด ซึ่งจะต้องนำมาผนวกรวมเข้ากับข้อกำหนดในการออกแบบทั่วไป เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีตามต้องการ ข้อกำหนดทางสุขลักษณะเหล่านี้จึงควรนำมาพิจารณาร่วมด้วยตั้งแต่ขั้นแรกของการออกแบบ การปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามข้อกำหนดทางสุขลักษณะ อาจทำให้อายุการใช้งานเครื่องมือเครื่องจักรยืนยาวขึ้นได้ และช่วยลดความจำเป็นในการบำรุงรักษาลงด้วย มาตรฐานของ European Hygienic Engineering Design Group (EHEDG) ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ และติดตั้งเครื่องมือให้ถูกสุขลักษณะ เพื่อป้องกันการเกิด การนำเชื้อ และการสะสมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ รวมทั้งอันตรายจากทางด้านกายภาพและเคมี สำหรับเครื่องมือ (Lelieveld & et al. 2003) เครื่องจักรในส่วนที่เป็นช่องว่าง (Dead legs) และร่องรอยแยกที่จุลินทรีย์สามารถไปหลุดติดและเจริญเติบโตได้ ต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้มี

- หลักเกณฑ์การออกแบบให้ถูกสุขลักษณะมีดังนี้

1. พื้นผิวและรูปทรง

พื้นผิวของเครื่องมือต้องสามารถล้างทำความสะอาดได้และต้องไม่ทำให้เกิดอันตรายที่มาจากพิษของการชะสัดของวัสดุและมีสารเป็นพิษเข้ามาในอาหาร พื้นผิวของเครื่องมือทั้งหมดที่สัมผัสกับอาหารต้องสามารถทนต่อการกัดกร่อน และการเกิดปฏิกิริยาจากอาหาร รวมทั้งการกัดกร่อนจากสารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาด และสารฆ่าเชื้อได้ตลอดช่วงสภาวะที่ใช้งาน ดังนั้นพื้นผิวของเครื่องมือที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ต้องทำจากวัสดุที่ไม่ดูดซึม (Nonabsorbent) นอกจากนั้นยังมีหลักการพิจารณาด้านอื่น ๆ สำหรับวัสดุที่สัมผัสกับอาหารให้เป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

- 1.1 วัสดุที่ใช้จำพวกพลาสติกหรืออีลาสโตเมอร์เสริมความแข็งแรง ต้องไม่ยอมให้ผลิตภัณฑ์มีการแพร่ผ่านออกมาได้
- 1.2 การบีบอัดของวัสดุอีลาสโตเมอร์ต้องมีการควบคุม
- 1.3 ความขรุขระของพื้นผิวต้องไม่เกิน $0.8 \mu\text{m}$

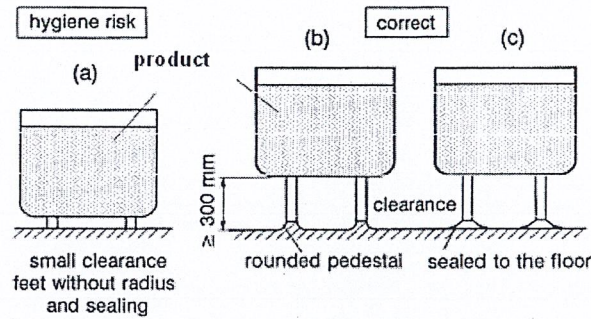
2. ความสามารถในการระบายน้ำหรือของเหลว

เครื่องมืออุปกรณ์ทั้งภายในและภายนอกรวมทั้งงานท่อ ต้องมีการระบายน้ำหรือของเหลวออกด้วยตัวเองได้ และสามารถทำความสะอาดได้โดยง่าย จึงควรหลีกเลี่ยงการวางพื้นผิวในแนวขนาน หรือควรทำให้เอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง การเดินท่อควรให้มีมุม เอียง 3° ณ ตำแหน่งที่มีการระบายน้ำ

3. การติดตั้งอุปกรณ์

ความเสี่ยงของการควบแน่นของไอน้ำบนเครื่องมืออุปกรณ์งานท่อและโครงสร้างของอาคารที่อาจเกิดขึ้นได้เมื่อไรก็ตาม ควรจะหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิด ไม่ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างพื้น ผนัง และเพดาน ระยะห่างระหว่างเครื่องมือไปที่ผนัง เพดาน หรือพื้นต้องมากพอสำหรับการทำความสะอาดและเข้าไปตรวจสอบได้ดังรูปที่

2.10



รูปที่ 2.10 ข้อบกพร่องจากการติดตั้งเครื่องมือ (a) ที่มีช่องทำความสะอาดแคบเกินไปและเกิดมุมอับที่ขาตั้ง (b-c) ช่องทำความสะอาดพอเหมาะ และไม่ทำให้เกิดมุมแหลม

ที่มา: Lelieveld & et al. (2003)

มุมแหลมที่ขอบควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิด ส่วนมุมภายในทั้งหมดและที่ขอบควรจะมีองศาที่ทำให้การล้างทำความสะอาดเป็นไปได้ง่าย เช่น ในเครื่องมืออุปกรณ์ ที่มีการเชื่อมโลหะหรือการติดตั้งอุปกรณ์ก็ไม่ควรให้มีมุมตั้งฉากซึ่งกันและกัน ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 (a) การเชื่อมกันเป็นมุมแหลมเป็นแบบไม่ถูกสุขลักษณะ (b) หลีกเลี่ยงการเกิดมุมแหลม ($\leq 90^\circ$) เป็นแบบถูกสุขลักษณะ

ที่มา: Nikoleiski (2007)

- วัสดุที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือแปรรูปอาหารต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะ ที่ใช้สัมผัสกับอาหารได้ โดยวัสดุที่สัมผัสกับอาหารต้องไม่มีปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะที่ใช้งาน วัสดุต้องทนต่อการกัดกร่อน ไม่ทำให้เกิดพิษในอาหาร มีความเสถียรเชิงกล และมีการแต่งพื้นผิวสุดท้ายที่ไม่ก่อให้เกิดผลเสียภายใต้สภาวะที่ใช้งาน ลักษณะของวัสดุที่ใช้ได้มีดังนี้

1. เป็นวัสดุที่ไม่ทำให้เกิดพิษกับผลิตภัณฑ์

การปรากฏพิษในอาหาร เป็นเรื่องที่ผู้บริโภคไม่สามารถยอมรับได้ โดยทั่วไปเหล็กสแตนเลส เบอร์ AISI-304, AISI-316 หรือ AISI 316L สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยา การกัดกร่อนได้ดี จึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมและมีการนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมอาหารอย่างมากมาย นอกจากนั้นยังมีวัสดุประเภทพลาสติกบางชนิดที่อาจมีข้อได้เปรียบในด้านของค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าสแตนเลส มีน้ำหนักที่น้อยกว่า และยังมีความต้านทานสารเคมีที่ดีกว่าด้วย ในหลายประเทศอาจมีระเบียบปฏิบัติ

และข้อกำหนดที่ครอบคลุมถึงองค์ประกอบของวัสดุที่สัมผัสกับอาหารได้ ดังนั้นจึงต้องมั่นใจได้ว่าการเลือกใช้วัสดุเฉพาะเหล่านี้ให้อยู่ภายใต้กฎหมายที่ครอบคลุมอยู่

2. เหล็กสแตนเลส

เหล็กสแตนเลสประเภท Austenitic เป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับงานในโรงงานแปรรูปทางอุตสาหกรรมอาหาร วัสดุประเภทนี้จึงมีหลายเกรดตามลักษณะและสัดส่วนของการเป็นโลหะผสม (Alloy) ที่อาจผสมกับเหล็ก คาร์บอน โครเมียม และนิกเกิล ดังในตารางที่ 2.2 ซึ่งควรมีอย่างน้อยโครเมียม (Cr) 18% และนิกเกิล (Ni) 8% เพื่อทำให้เป็นวัสดุที่ดัดแปลงหรือเชื่อมได้ โดยยังคงมีลักษณะที่ไม่เหนียวในสนามแม่เหล็ก และต้านทานต่อการกัดกร่อนได้

ตารางที่ 2.2 ประเภทของสแตนเลสที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ที่มา: Lelieveld & et al. (2003)

DIN EN	เบอร์	ส่วนประกอบอื่นนอกเหนือไปจากเหล็ก %โดยมวล
1.4301	AISI 304	Cr-18 Ni-10
1.4307	AISI 304L	Cr-19 Ni-11
1.4401	AISI 316	Cr-17 Ni-12 Mo-2
1.4435	AISI 316L	Cr-18 Ni-14 Mo-3
1.4006	AISI 410	Cr-13

สำหรับเหล็กสแตนเลสมีการกำหนดประเภท ตามมาตรฐานของ American Iron and Steel Institute (AISI) และ Deutsch Industrial Norms (DIN) ไว้ใช้สำหรับงานหล่อ โดยมีการเลือกประเภทที่ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติด้านการกัดกร่อนจากกระบวนการผลิต

AISI-304 (or DIN Worst-off No. 1.4301) ถูกนำมาใช้มากในสภาพที่ต้องสัมผัสกับของเหลวที่ไม่มีคลอไรด์ แต่ถ้าของเหลวมีคลอไรด์ซึ่งอาจจะนำไปสู่บางจุดที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ก็สามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting)

AISI-316 (หรือ DIN Worst-off No 1.4401) และ AISI-316L (หรือ DIN Worst-off No.1.4404) มีองค์ประกอบของ Molybdenum จึงเหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องมือและงานท่อที่ต้องสัมผัสสารคลอไรด์ และถูกใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 °C

ถ้าพื้นผิวที่ใช้ไม่มีการสัมผัสกับอาหารโดยตรงอาจใช้วัสดุพวก Mild Steel ที่พื้นผิวมีการเคลือบสารไว้ เช่น สาร Active Primer and Metallic Top Coat หรือการทำ Nickel Plating ที่พื้นผิว นอกจากนี้อาจใช้ลูมิเนียม ที่มีการทำ Hard Coat Anodization หรือทำ Anodization ได้

2.3 การออกแบบระบบควบคุมกระบวนการผลิต

ระบบการควบคุมกระบวนการผลิต (Process Control System) ในอุตสาหกรรมการผลิตนั้น หมายถึง การที่โรงงาน เครื่องจักร กระบวนการผลิต อุปกรณ์วัด และอุปกรณ์ควบคุมการผลิตสามารถปฏิบัติงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ เพื่อให้การผลิตในงานอุตสาหกรรมดำเนินการไปได้อย่างต่อเนื่อง เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบ และต่อผู้ปฏิบัติงาน หรือเป็นไปตามวัตถุประสงค์อื่นที่ตั้งไว้ (พรพจน์, 2543)

2.3.1 ขอบเขตของระบบการควบคุมทางวิศวกรรม

กระบวนการควบคุมในงานอุตสาหกรรมการผลิต จะทำหน้าที่ในการควบคุมตัวแปรเงื่อนไขในการผลิตให้ถูกต้อง แม่นยำ เพียงตรงแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณภาพ ได้มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ หรือมีความสูญเสียน้อย เช่น การควบคุมส่วนผสม น้ำหนัก ปริมาณ ระยะ ตำแหน่ง อุณหภูมิ ความดัน ความเร็วของปฏิกิริยา อัตราการไหล ความหนา ความหนืดของสาร กระบวนการควบคุมด้วยคน หรือควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ จากตัวแปรดังกล่าวมาสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มหลักได้แก่

- 2.3.1.1 ตัวแปรนำเข้า (Input Variable) หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อสภาพหรือสถานะของกระบวนการโดยตรง ทำให้สภาพของกระบวนการตัวแปรนี้ประกอบด้วยสัญญาณการรบกวนจากภายนอก เช่น สภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถกำหนดและควบคุมได้โดยตรง ต้องกำหนดค่าโดยผ่านอุปกรณ์อื่น หรือสัญญาณควบคุม
- 2.3.1.2 ตัวแปรออก (Output Variable) หมายถึง สภาพต่าง ๆ ของกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงค่าไปเนื่องจากผลกระทบของตัวแปรนำเข้า ประกอบด้วยตัวแปรที่วัดค่าได้ ได้แก่ สถานะของกระบวนการที่สามารถวัดค่าได้ ตรวจสอบค่าได้โดยตรงจากเครื่องมือวัด หรือตรวจสอบไม่ได้จะใช้หลักการคำนวณ
- 2.3.1.3 ตัวแปรควบคุม (Controlled Variable) คือ ตัวแปรของกระบวนการ (Process) ที่เราต้องการควบคุม ค่าตัวแปรควบคุมที่ใช้ส่วนมาก ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล ระดับ เช่น ในการควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำ ตัวแปรควบคุม ก็คือ อุณหภูมิ
- 2.3.1.4 ตัวแปรตรวจวัด (Measured Variable) เป็นการวัดค่าของตัวแปรที่เราต้องการควบคุม อาจจะเป็นตัวเดียวกับตัวแปรควบคุมหรือไม่ก็ได้
- 2.3.1.5 ค่าเป้าหมาย (Set Point) เป็นค่าเป้าหมายในการควบคุม เช่น อุณหภูมิของไอน้ำ ค่าเป้าหมายควบคุมเท่ากับ 560°C เป็นต้น

2.3.2 องค์ประกอบของระบบควบคุม

- อุปกรณ์วัด (Measuring Devices) ทำหน้าที่วัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในกระบวนการ อุปกรณ์วัดที่สำคัญสำหรับตัวแปรกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรมมีดังนี้
 1. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensors)
 2. อุปกรณ์วัดความดัน (Pressure Sensors)
 3. อุปกรณ์วัดความดันต่าง (Differential Pressure Sensors)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุปกรณ์วัดการไหลของของเหลวหรือแก๊ส (Liquid or Gas Flow Sensors)
5. อุปกรณ์วัดระดับของเหลว (Level Sensors)
6. อุปกรณ์วัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH Sensors)
7. อุปกรณ์วัดความหนืด (Viscometer Sensors)
8. อุปกรณ์วัดองค์ประกอบสารเคมี (Chemical Composition Sensors)
9. อุปกรณ์ส่งผ่านค่า (Transmitter)

โดยอุปกรณ์วัดเหล่านี้มีให้เลือกใช้มากมายหลายชนิด ในการเลือกใช้จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับสถานะและคุณสมบัติของไหลที่ต้องการวัด

- เครื่องควบคุม (Controller) ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์วัดส่งค่าเข้ามา เพื่อสั่งการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ใช้ในการปรับกระบวนการ เกิดผลกระทบบนทิศทางที่ต้องการ ประเภทของเครื่องควบคุมที่ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมมี 4 ประเภท คือ

1. เครื่องควบคุมแบบ PLC (Programmable logic controller) เปิด - ปิด (On - Off Control) การควบคุมแบบนี้จะเป็นการควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง ซึ่งการทำงานของอุปกรณ์สุดท้ายจะมีการทำงานอยู่ที่สองตำแหน่งเช่นเดียวกัน คือ ปิดและเปิด เป็นการทำงานที่ง่าย ประหยัด มีค่าใช้จ่ายที่ถูก

2. เครื่องควบคุมแบบพีไอ (Proportional Integral Controller, PI) การควบคุมแบบ PI จะมีสมการของเอาต์พุตเป็นดังนี้

$$u(t) = K_p e(t) + (K_p / T_i) \int e(t) dt$$

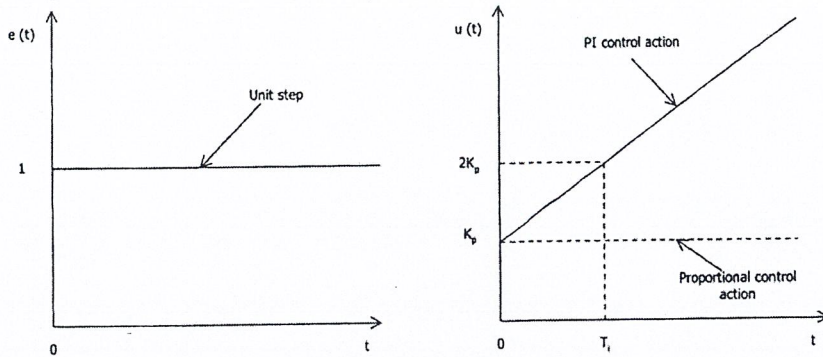
เมื่อ $u(t)$ คือ ค่าเอาต์พุตจากตัวควบคุม

$e(t)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนจากค่ากำหนด

K_p คือ Proportional gain

T_i คือ Integral time

K_p และ T_i เป็นตัวแปรที่ปรับค่าได้ โดย T_i จะใช้ปรับค่าควบคุมแบบ Integral ขณะที่การปรับค่า K_p จะมีผลกระทบต่อ การควบคุม Proportional และ Integral สำหรับส่วนกลับของ K_p / T_i จะถูกเรียกว่า Reset Time ซึ่งจะถูกวัดอยู่ในรูปของ การทำซ้ำต่อนาที (Repeats per Minute) สามารถแสดงค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม $u(t)$ เมื่อมีค่าเบี่ยงเบน $e(t)$ เป็นแบบ Unit Step ดังรูปที่ 2.12



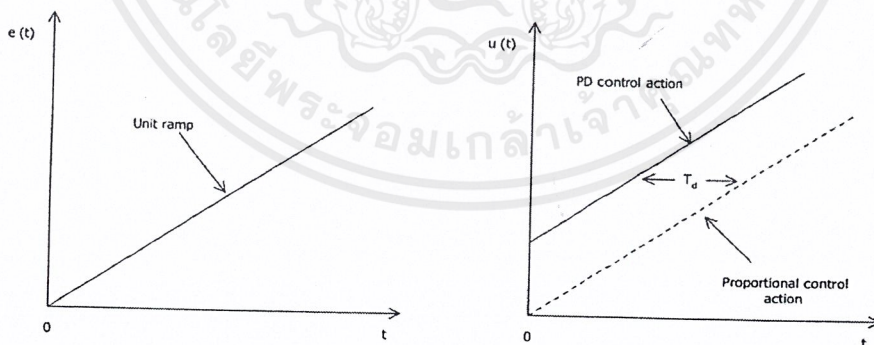
รูปที่ 2.12 ค่าเอาต์พุตของการควบคุมแบบ PI เมื่อมีการเบี่ยงเบนแบบ Unit Step
ที่มา: ทวิช (2549)

3. เครื่องควบคุมแบบพีดี (Proportional Derivative Controller, PD)
การควบคุมแบบ PD จะมีสมการของเอาต์พุตเป็นดังนี้

$$u(t) = K_p e(t) + (K_p/T_d) de(t)dt$$

เมื่อ T_d คือ Derivation time

K_p และ T_d เป็นตัวแปรที่ปรับค่าได้ การควบคุมแบบ Derivative ในบางครั้งถูกเรียกว่า Rate Control ซึ่งขนาดเอาต์พุตของตัวควบคุมจะมีขนาดเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลง (Rate of Change) ของค่าเบี่ยงเบน T_d เป็นค่าช่วงเวลานำหน้าค่าเอาต์พุตจากส่วนการควบคุมแบบ Proportional สามารถแสดงค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม $u(t)$ เมื่อมีค่าเบี่ยงเบน $e(t)$ เป็นแบบ Unit Ramp ดังรูปที่ 2.13

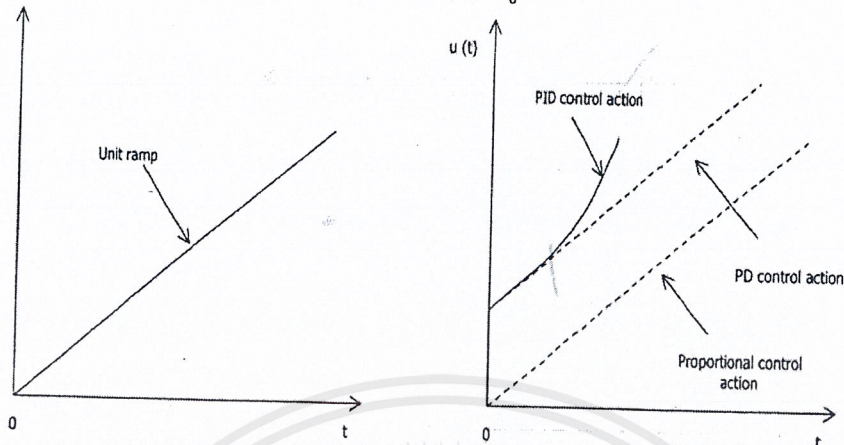


รูปที่ 2.13 ค่าเอาต์พุตของการควบคุมแบบ PD เมื่อมีการเบี่ยงเบนแบบ Unit Ramp
ที่มา: ทวิช (2549)

4. เครื่องควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral Derivative Controller, PID) การควบคุมแบบนี้จะเป็นการควบคุมทั้งสามแบบเข้าด้วยกัน การควบคุมแบบ PID จะมีสมการของเอาต์พุตเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u(t) = K_p e(t) + (K_p/T_i) \int e(t) dt + (K_p/T_d) de(t) dt$$
 สามารถแสดงค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม $u(t)$ เมื่อมีค่าเบี่ยงเบน $e(t)$ เป็นแบบ Unit Ramp ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ค่าเอาต์พุตของการควบคุมแบบ PID เมื่อมีการเบี่ยงเบนแบบ Unit Ramp
ที่มา: ทวิช (2549)

- อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) ทำหน้าที่รับคำสั่งจากเครื่องควบคุม มาทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรปรับค่าได้ (Manipulated Variable) เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในกระบวนการในทิศทางที่ชดเชยกับความเบี่ยงเบนของกระบวนการ สำหรับในกระบวนการอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่ อุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่ วาล์วควบคุม (Control Valve) หรือปั๊มปรับความเร็วรอบได้ เป็นต้น

2.4 การวางผังโรงงาน

การออกแบบและวางผังโรงงาน (Plant Layout and Design) มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดตำแหน่งของสถานที่ทำงานเครื่องจักร อุปกรณ์ และปัจจัยการผลิตอื่น ๆ โดยมุ่งหวังที่จะให้การปฏิบัติงานในโรงงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยกำหนดตำแหน่งของคน เครื่องจักร วัสดุ และสิ่งสนับสนุนการผลิต อันเป็นปัจจัยสำคัญของระบบการผลิตให้เหมาะสม

การออกแบบผังโรงงานเป็นการออกแบบเพื่อเป้าหมายดังนี้

- ให้เกิดการจัดวางเครื่องจักรหรือเครื่องมือให้อยู่ในที่ที่ถูกต้อง
- ให้เกิดการผลิตสินค้าเป็นไปในลักษณะที่มีประสิทธิผลที่สุด
- ให้เสียเวลาน้อยที่สุดในการผลิต
- ให้มีระยะทางการเคลื่อนย้ายสั้นที่สุด
- เพื่อให้มีการเคลื่อนย้ายน้อยที่สุด

จะเห็นได้ว่าภารกิจที่จะให้ได้สิ่งเหล่านี้มานั้น การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นในองค์กรจะมีบทบาทอย่างมาก เพราะความสัมพันธ์ของกิจกรรมนี้เองที่ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของหน่วยงานต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ชนิดของการจัดวางผังโรงงาน

การที่จะวางแผนการจัดวางผังโรงงาน ให้ได้ผังโรงงานที่ดีนั้น จะต้องทราบเสียก่อนว่าผังโรงงานนั้นมีกี่ชนิด และแต่ละชนิดมีลักษณะอย่างไร เหมาะที่จะใช้เมื่อไร เหมาะกับการผลิตงานประเภทไหน ถ้าได้ทราบชนิดของผังโรงงานที่ต้องการแล้ว ก็จะทำให้ทราบถึงอุปกรณ์และข้อมูลต่าง ๆ ที่จะต้องใช้เพื่อให้ได้มาซึ่งแผนผังโรงงานที่ดี โดยทั่วไปผังโรงงานอาจจำแนกออกเป็น 3 ชนิด แต่โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ในโรงงานปัจจุบัน มักจะจัดวางผังชนิดที่คละกันไป เพื่อให้ได้ประโยชน์จากการดำเนินการผลิตสูงสุด การจัดผังโรงงานจะเป็นแบบไหนนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะการผลิต และหน่วยงาน การจัดผังโรงงานสามารถที่จะจำแนกออกได้ดังนี้คือ

2.4.1.1 การจัดวางผังตามขั้นตอนการผลิต (Product Layout) เหมาะสำหรับงานการผลิตครั้งละมาก ๆ ใช้เวลาในการผลิตต่อหน่วยสั้นมาก และต้นทุนการผลิตต่ำ ผังโรงงานจะมีลักษณะเป็นสาย

2.4.1.2 การจัดวางผังตามชนิดเครื่องจักร (Process Layout) เป็นการจัดวางเครื่องจักรชนิดเดียวกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ใช้สำหรับงานผลิตที่มีปริมาณไม่มากนัก และไม่มีการผลิตอย่างสม่ำเสมอ ขั้นตอนการทำงานใด ต้องใช้เครื่องจักรประเภทใด ก็จ่ายงานให้เข้ากับเครื่องจักรประเภทนั้น

2.4.1.3 การจัดวางผังตามตำแหน่งงาน (Fixed - Position Layout) เป็นการจัดวางผังโดยการวางเครื่องมือต่าง ๆ ในตำแหน่งที่จะเคลื่อนที่เข้าไปหางานได้สะดวกและรวดเร็ว งานที่ทำจะเป็นงานใหญ่อยู่กับที่การเคลื่อนย้ายเป็นไปไม่ได้ง่าย เช่น อู่อต่อเรือ และอุปกรณ์ประกอบเครื่องบิน เป็นต้น สำหรับการจัดวางผังชนิดนี้ปัจจุบันได้ลดลงไปอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากการสร้างเครื่องมือการขนถ่ายลำเลียงสำหรับงานขนาดใหญ่ขึ้นนั่นเอง

ในการตัดสินใจเลือกชนิดของผังโรงงาน จะต้องอาศัยผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและปริมาณที่จะผลิต แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นที่จะต้องจัดผังโรงงานตามขั้นตอนการผลิต เนื่องจากมีงานไม่มากนัก แต่ความต้องการในแต่ละชนิดมีมาก แบบนี้จะต้องจัดวางผังตามชนิดเครื่องจักรในกรณีที่ต้องผลิตงานมากชนิดด้วยกัน แต่ถ้าการผลิตชนิดละไม่มาก ก็เป็นการจัดวางผังผสมระหว่างการจัดวางผังตามขั้นตอนการผลิต และการจัดวางผังตามชนิดเครื่องจักรเพื่อให้ได้ประโยชน์จากการผลิตสูงสุด

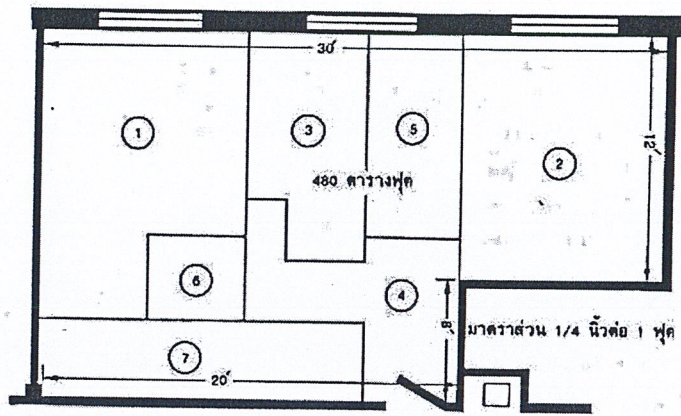
2.4.2 ขั้นตอนการออกแบบผังโรงงาน

สำหรับขั้นตอนของการออกแบบผังโรงงานในที่นี้จะใช้วิธีของ ริชาร์ด มิวเตอร์ (สมศักดิ์, 2553) โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเลือกทำเลที่ตั้ง ใช้สำหรับพิจารณาหาทำเลที่ตั้งของพื้นที่ที่จะทำการวางผังโรงงาน ขั้นตอนนี้ นอกจากเป็นปัญหาสำคัญในการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานแห่งใหม่แล้ว ยังเป็นสิ่งที่เราต้องการสำหรับการจัดวางผังโรงงานใหม่ในเนื้อที่เดิมปัจจุบัน

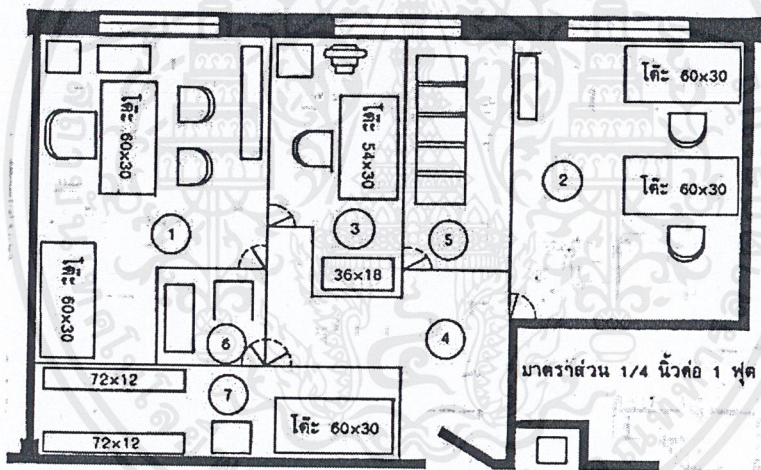
ขั้นตอนที่ 2 เป็นการออกแบบผังโรงงานอย่างหยาบเพียงเพื่อให้ทราบคร่าว ๆ ว่าหน่วยงานไหนควรอยู่ส่วนไหนของโรงงาน แสดงในรูปของบล็อกสี่เหลี่ยมเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ขั้นตอนนี้เราสามารถให้หลักการทางวิทยาศาสตร์และทางศิลปะมาวิเคราะห์และกำหนดตำแหน่งที่ตั้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การออกแบบแผนผังอย่างหยาบ
ที่มา: สมศักดิ์ (2553)

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการออกแบบผังโรงงานในรายละเอียด แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งและลักษณะการจัดตั้งเครื่องจักร เครื่องมืออย่างแท้จริง ความกว้างและทิศทางของทางเดิน ทางขนถ่ายลำเลียงมีการกำหนดไว้ชัดเจน นอกจากนี้รายละเอียดอื่น ๆ ที่มีอยู่ก็ต้องแสดงให้เห็นชัดเจนด้วยรูปที่ 2.16 แสดงการออกแบบผังในรายละเอียดของสำนักงาน



รูปที่ 2.16 การออกแบบแผนผังอย่างละเอียด
ที่มา: สมศักดิ์ (2553)

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนของการติดตั้งและดำเนินงานตามแผนผังที่ออกแบบไว้ พร้อมกับติดตามผลของการปฏิบัติงานจริง และดำเนินการแก้ไขถ้ามีสิ่งบกพร่อง อันที่จริงขั้นตอนนี้มีความสำคัญต่อความสำเร็จของผังโรงงานมาก ทั้งนี้เพราะว่าการปฏิบัติการใด ๆ ก็ตาม จะต้องมีการซ่อมบำรุงเพื่อแก้ไขปรับปรุงอยู่ตลอดเวลาเสมอ การออกแบบผังโรงงานก็เช่นกัน ไม่มีผังโรงงานใดที่มีความสมบูรณ์ เพราะเมื่อนำมาปฏิบัติจริงก็ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขมาบ้างน้อยบ้าง ผังโรงงานที่ดีจะได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สูง

2.4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

- การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยงาน

การหาความสัมพันธ์ของกิจกรรมหรือหน่วยงานต่าง ๆ โดยการอาศัยวิธีวิเคราะห์การไหลของสิ่งต่าง ๆ ในโรงงาน เพื่อดูว่าหน่วยงานใดควรจะอยู่ที่ใดในโรงงานแล้วทำให้เกิดการไหลที่ต่อเนื่องและสั้นที่สุด ซึ่งถ้าว่ากันโดยความเป็นจริงแล้วการวิเคราะห์เพียงการไหลอย่างเดียวนั้นไม่เป็นการเพียงพอ สำหรับการหาความสัมพันธ์ของกิจกรรมหรือหน่วยงานในโรงงาน ทั้งนี้เนื่องจากว่าในโรงงานนอกจากจะมีหน่วยผลิตแล้ว ยังมีหน่วยอื่นซึ่งมีหน้าที่สนับสนุนหน่วยผลิตเพื่อให้เกิดการผลิตที่ดีที่สุด หน่วยสนับสนุนการผลิตบางหน่วยถึงแม้จะไม่มีไหลของสิ่งของเกิดขึ้น แต่ความจำเป็นที่จะต้องอยู่ใกล้กับหน่วยผลิตมากกว่าหน่วยสนับสนุนอื่น เช่น สำนักงาน หน่วยจัดหาเครื่องมือ หน่วยซ่อมบำรุงรักษา เป็นต้น

แผนภูมิความสัมพันธ์ (Relation Ship Chart) ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่าง ๆ โดยอาศัยแผนภูมิความสัมพันธ์นั้นจำเป็นที่จะต้องดำเนินการดังนี้

1. การกำหนดกิจกรรม คำว่ากิจกรรมในที่นี้หมายถึงบริเวณต่าง ๆ หรือสิ่งของต่าง ๆ ที่รวมอยู่ในแผนผัง เช่น อาคาร แผนกการผลิต แผนกในสำนักงาน เครื่องจักร สำหรับในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แต่ละครั้งไม่ควรที่จะกำหนดกิจกรรมมากไปกว่า 40 กิจกรรม ทั้งนี้เนื่องจากจะทำให้เกิดความยุ่งยากและลำบากต่อการจัดวางแผนผัง
2. การจำแนกระดับความสัมพันธ์ ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่าง ๆ นี้ สามารถจำแนกออกเป็น 6 ระดับ ด้วยกัน คือ A, E, I, O, U, X ได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ และรหัสต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบการเขียนแผนภาพความสัมพันธ์
ที่มา: สมศักดิ์ (2553)

รหัสอักษร	คะแนน	จำนวนเส้น	ระบบความสัมพันธ์	รหัสสี
A	4	////	ความสำคัญสูงสุด	สีแดง
E	3	///	ความสำคัญพิเศษ	สีส้ม สีเหลือง
I	2	//	มีความสำคัญ	สีเขียว
O	1	/	ธรรมดา	น้ำเงิน
U	0		ไม่สำคัญ	ไม่มีสี
X	-1	~~~~	ไม่ต้องการ	สีน้ำตาล
XX	-2, -3, -4, ?	~~~~	ไม่ต้องการสุดขีด	สีดำ

A จะให้กับคู่กิจกรรมที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งยวดที่จะต้องอยู่ใกล้กัน

E จะให้กับคู่กิจกรรมที่มีความสำคัญมากที่จะต้องอยู่ใกล้กัน

I จะให้กับคู่กิจกรรมที่มีความสำคัญที่จะต้องอยู่ใกล้กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

○ จะให้กับคู่กิจกรรมที่มีความสัมพันธ์กันธรรมดา
 U จะให้กับคู่กิจกรรมที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกันไม่มีความสำคัญ จะอยู่ที่ไหนก็ได้

X จะให้กับคู่กิจกรรมที่อยู่ใกล้กันไม่ได้เลย ด้วยเหตุผลเกี่ยวกับ

- ฝุ่น เสียง ควัน กลิ่น และการสั่นสะเทือน
- อันตรายต่อสุขภาพและความปลอดภัย
- การรบกวน

จะเห็นว่าเราจำแนกความสัมพันธ์ตามระดับความสัมพันธ์ จากมากที่สุดลงไปถึงระดับความสัมพันธ์น้อยที่สุด คือ จาก A ไปถึง U และ X ในทางปฏิบัติการให้ระดับความสัมพันธ์ของคู่กิจกรรมต่าง ๆ จะทำกันในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

- ผู้วางแผนผังทราบดีเกี่ยวกับการดำเนินงานของคู่กิจกรรม จะเป็นผู้ให้ระดับความสัมพันธ์เอง
- ใช้การไหลเป็นแนวทางในการให้ระดับความสัมพันธ์
- ไปขอความคิดเห็นจากบุคคลที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงาน ของกิจกรรมที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการเนื้อที่ด้วย
- ใช้แบบสอบถามส่งไปยังบุคคลที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ช่วยรอกความคิดเห็นเกี่ยวกับระดับความสัมพันธ์ จากนั้นทำการสรุปและตัดสินใจขั้นสุดท้ายอีกครั้งหนึ่ง
- อาจพบกันระหว่างผู้จัดการที่รับผิดชอบในบริเวณต่าง ๆ แล้วตัดสินใจร่วมกันในการให้ระดับความสัมพันธ์ในขณะนั้นทันที

3. เหตุผลสำหรับระดับความสัมพันธ์ต่าง ๆ ในการให้ระดับความสัมพันธ์แก่คู่กิจกรรมต่าง ๆ นั้น เนื่องจากเราไม่มีวิธีการคำนวณที่จะให้ได้มาซึ่งระดับความสัมพันธ์ของคู่กิจกรรมต่าง ๆ ได้ และเพื่อให้ได้ระดับความสัมพันธ์ของคู่กิจกรรมที่เป็นจริงโดยสมเหตุสมผล มิใช่อาศัยความรู้สึกเป็นสิ่งกำหนด ฉะนั้นการให้เหตุผลสำหรับระดับความสัมพันธ์ที่กำหนดเป็นสิ่งจำเป็น นอกจากนี้เหตุผลต่าง ๆ ก็ยังเป็นสิ่งที่จะช่วยสนับสนุนความถูกต้องของข้อมูลที่ได้มา สำหรับเหตุผลที่ขอยกตัวอย่างเพื่อเป็นแนวทาง/ วัสดุ

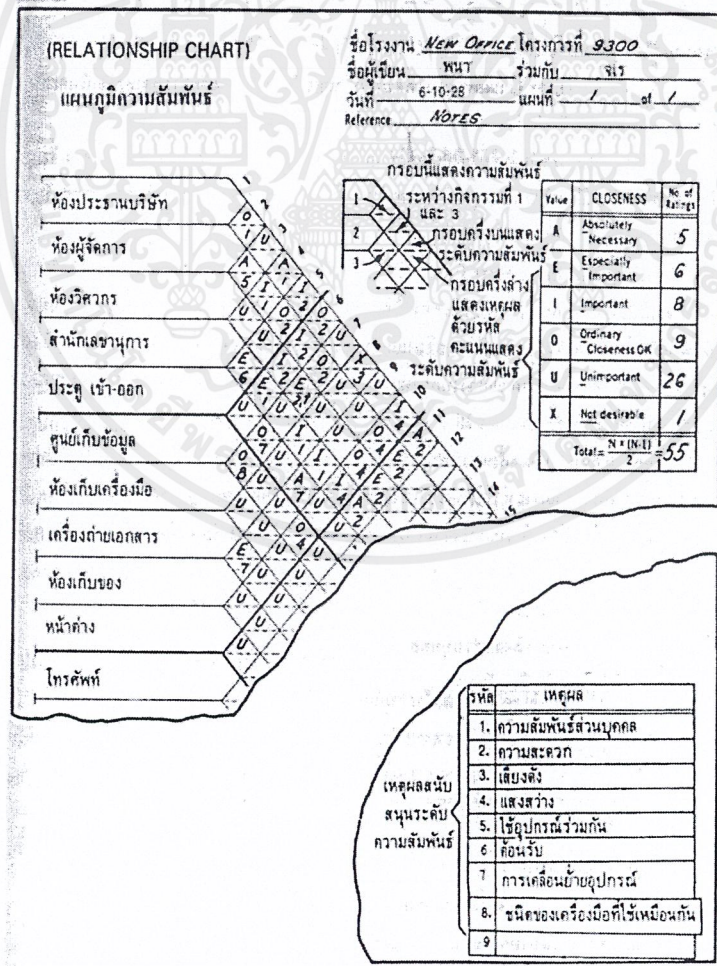
- ลำดับชั้นการไหลของงาน/ วัสดุ
- ใช้เครื่องมือร่วมกัน
- ใช้พื้นที่ร่วมกัน
- ใช้ที่เดียวกัน
- การติดต่อกันกระดาดมีบ้าง
- ใช้เครื่องมือติดต่อกัน
- การเคลื่อนที่ของคน
- เสียง สกปรก ควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การสันสะเทือน
- ทำให้การขนถ่ายง่ายขึ้น
- ใช้บันทึกร่วมกัน
- ใช้คนร่วมกัน
- ง่ายต่อการแนะนำ

ในการให้ระดับความสัมพันธ์ของคู่อุปกรณ์นั้นมักจะมีการเข้าข้างตัวเองเสมอว่าคู่อุปกรณ์นั้นคู่อุปกรณ์นี้ควรจะอยู่ใกล้กัน ผลที่ได้ก็คือจะมีการให้ระดับความสัมพันธ์ของคู่อุปกรณ์เป็น A เสียมากมาย ซึ่งเป็นสิ่งไม่ถูกต้องและจะไปสร้างความยากลำบากให้เกิดขึ้นในการทำแผนผังความสัมพันธ์เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของหน่วยงาน ฉะนั้นในที่นี้จะขอแนะนำไว้ว่าควรจะให้ระดับความสัมพันธ์เป็น A ให้กับคู่อุปกรณ์ที่มีความจำเป็นจริง ๆ ตามหลักเหตุผลที่ให้ไว้

4. การสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่าง ๆ นั้น ในกรณีที่เราไม่สามารถใช้การไหลของสิ่งของเป็นเครื่องตัดสิน เราจะใช้แผนภูมิความสัมพันธ์เป็นเครื่องมือช่วยในการหาความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยงาน
ที่มา: สมศักดิ์ (2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณหาเนื้อที่ที่ต้องการ

ในการหาเนื้อที่ที่ต้องการสำหรับแต่ละโรงงาน จะได้จากการออกแบบกระบวนการผลิต ว่ามีอัตราการผลิต (Production Rate) เป็นเท่าไร เมื่อทราบว่า จะต้องผลิตในอัตราเท่าใดแล้ว ก็จะทำให้ทราบว่าต้องการจำนวนเครื่องจักร อุปกรณ์จำนวนเท่าไร และต้องการกำลังคนเท่าไร หลังจากที่เราทราบว่าต้องใช้เครื่องจักรชนิดใดเป็นจำนวนเท่าใด จำนวนคนทั้งหมดที่ต้องการเป็นเท่าใด ขนาดทางเดินทางขนถ่ายลำเลียงสิ่งของกว้างแคบเพียงใด ความต้องการเนื้อที่ของส่วนสนับสนุนต่าง ๆ เป็นเท่าใดแล้ว เราก็สามารถที่จะคำนวณหาเนื้อที่ที่ต้องการได้ วิธีที่ใช้ในการหาเนื้อที่ที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปมีดังนี้ คือ

1. วิธีการคำนวณโดยคิดจากศูนย์การผลิต (Production - Center Method) โดยถือว่าศูนย์การผลิตหนึ่งจะประกอบไปด้วยเครื่องจักรเครื่องหนึ่ง เครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นในการปฏิบัติงานที่เก็บอุปกรณ์ ที่วางงานที่ทำเสร็จและที่ยังไม่ได้ทำ ทางเดิน เนื้อที่สำหรับการปฏิบัติงานและการซ่อมบำรุงรักษา เป็นต้น เมื่อเราได้ทราบจำนวนชนิดของเครื่องจักรที่แตกต่างกันที่ต้องการจากการคำนวณที่กล่าวมาแล้ว เราก็มาคิดคำนวณดูว่าศูนย์การผลิตที่ต่างกันแต่ละศูนย์ต้องการเนื้อที่เท่าใด มีอย่างละกี่ศูนย์ จากนั้นก็สามารถหาเนื้อที่ทั้งหมดที่ต้องการสำหรับหน่วยผลิตได้ วิธีนี้เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการจัดวางผังแบบตามชนิดเครื่องจักร
2. วิธีแปลงเนื้อที่ (Converting Method) เป็นวิธีการหาเนื้อที่ที่ต้องการในอนาคตโดยอาศัยข้อมูลของความถี่ความต้องการเนื้อที่จริง ๆ ในปัจจุบัน โดยเมื่อตลาดมีความต้องการผลผลิตมากขึ้นทำให้จะต้องขยายโรงงานออกไปจากเดิม จึงต้องคำนวณหาเนื้อที่โดยอาศัยความต้องการเนื้อที่เดิมเป็นหลัก ข้อที่ควรระมัดระวังไว้สำหรับการใช้วิธีนี้ก็คือ จะต้องเป็นการหาเนื้อที่สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน และความต้องการของเนื้อที่ที่เพิ่มขึ้นไม่จำเป็นจะต้องเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนผลผลิตที่เพิ่มขึ้น วิธีนี้เหมาะที่จะใช้ในการหาเนื้อที่สำหรับสำนักงาน คลังเก็บวัสดุสินค้าเนื้อที่หน่วยงานสนับสนุนการผลิตต่าง ๆ เป็นต้น วิธีนี้จะเหมาะสมมากในทางปฏิบัติในกรณีดังต่อไปนี้
 - 2.1 เมื่อโครงการจะต้องทำเป็นการรีบด่วน
 - 2.2 เมื่อต้องการทราบเนื้อที่อย่างคร่าว ๆ ในการวางแผนการหาทำเลที่ตั้งอยู่
 - 2.3 เมื่อธรรมชาติของงานที่ทำนั้นกว้างและซับซ้อน ทำให้การคำนวณในรายละเอียดนั้นเป็นได้ด้วยความยากลำบาก
 - 2.4 เมื่อข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่จะผลิต ไม่เป็นการแน่นอนเพียงพอที่จะเอื้ออำนวยให้ใช้วิธีการคำนวณ
3. วิธีคิดจากเนื้อที่มาตรฐาน (Space - Standards Method) เนื้อที่มาตรฐานของโรงงานที่ตั้งขึ้นแล้วนำไปใช้อย่างได้ผลมาแล้ว อาจถือเป็นแนวทางในการคำนวณหาเนื้อที่ที่ต้องการได้เนื้อที่ของเครื่องจักรที่มีอยู่ใน

คู่มือของเครื่องจักรจากผู้ผลิต และเนื้อที่มาตรฐานจากหนังสือคู่มือต่าง ๆ ก็สามารถใช้เป็นแนวทางเช่นเดียวกัน เช่น เนื้อที่สำหรับรถยนต์คันหนึ่งในลานจอดรถเท่ากับ 22 ตารางเมตร เป็นต้น แต่พึงจำไว้ว่าการที่จะใช้เนื้อที่มาตรฐานจากคู่มือต่าง ๆ นั้นควรจะดูเบื้องหลังของมาตรฐานที่ตั้งขึ้นด้วยว่ามีเงื่อนไขอะไรบ้าง แล้วใช้มาตรฐานเป็นแนวทางเท่านั้นไม่เช่นนั้นก็จะเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ เช่น หากความต้องการเนื้อที่สำหรับจอดรถยนต์หนึ่งคันในการออกแบบลานจอดรถในกรุงเทพฯ แต่กลับไปนำมาตรฐานของเนื้อที่จอดรถในอเมริกามาใช้ 54 ซึ่งเป็นการไม่ถูกต้อง เพราะรถยนต์ที่ใช้ในอเมริกานั้นใหญ่กว่าที่ใช้ในบ้านเรามาก เนื้อที่มาตรฐานที่มีไว้จึงมีถึง 27 ตารางเมตรต่อคัน

4. วิธีคิดจากผังที่วางคร่าว ๆ (Roughed - Out Layout Method) เป็นการหาเนื้อที่สำหรับผังโรงงานอย่างหยาบ ๆ โดยที่ว่าการวางผังโรงงานบางผัง การหาเนื้อที่ที่ต้องการด้วยวิธีการคำนวณและวิธีแปลงเนื้อที่ไม่สะดวกในทางปฏิบัติ และเนื้อที่มาตรฐานที่จะใช้เป็นแนวทางก็หาไม่ได้ และเรามีหุ่นจำลองของเครื่องจักรเครื่องมือและสิ่งสนับสนุนต่าง ๆ ทั้งหมด พร้อมทั้งจะใช้ได้อยู่ในมือก็อาจใช้หุ่นที่มีอยู่นี้ลองจัดผังดูให้กับบางหน่วยงาน วิธีนี้เหมาะที่จะใช้ในบริเวณที่มีการลงทุนในเครื่องมือสูง และเครื่องมือค่อนข้างที่จะต้องตั้งอยู่กับที่แน่นอนและเป็นเครื่องจักรใหญ่ การทำเช่นนี้จะทำให้ทราบได้โดยคร่าว ๆ ว่าหน่วยงานเหล่านี้ต้องการเนื้อที่โดยประมาณสักเท่าใดได้
5. วิธีที่คิดจากแนวโน้มสัดส่วนเนื้อที่ที่ใช้ (Ratio - Trend And Projection Method) เป็นวิธีที่มีความเที่ยงตรงน้อยที่สุดในการหาเนื้อที่ที่ต้องการที่แท้จริง ใช้ได้สำหรับการวางแผนระยะยาวเหมาะสำหรับการหาความต้องการเนื้อที่ของสำนักงาน โกดังเก็บของหรือที่ซึ่งมีเครื่องมือเอื้ออำนวยให้เคลื่อนย้ายได้ง่าย การหาเนื้อที่ด้วยวิธีนี้จะอาศัยสัดส่วนของเนื้อที่ที่ต้องการบางอย่างโดยดูจากความต้องการในอดีตแล้วคาดคะเนแนวโน้มของความต้องการเนื้อที่ สำหรับการวางผังในอนาคตสำหรับสัดส่วนที่กล่าวถึงนี้อาจเป็นเนื้อที่เป็นตารางเมตรต่อหน่วยที่ผลิต หรือต่อชั่วโมงการทำงานของคนงาน หรือต่อเครื่องจักร

- มาตรฐานของการจัดพื้นที่สำนักงาน

การจัดพื้นที่สำนักงานจะใช้มาตรฐานของการจัดพื้นที่สำนักงานของประเทศญี่ปุ่น มาเป็นแนวทางในการจัดพื้นที่สำนักงานของประเทศไทยได้ เนื่องจากสัดส่วนของร่างกายระหว่างของญี่ปุ่นกับคนไทยมีความใกล้เคียงกัน ประกอบกับประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศหนึ่งที่ได้รับการยอมรับเกี่ยวกับการใช้พื้นที่ใช้สอยได้อย่างคุ้มค่าและมีประโยชน์สูงสุด (ณรงค์, 2555) โดยห้องทำงานในสำนักงานนั้นสามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท ตามลักษณะการใช้งาน และมีขนาดที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

1. ห้องทำงานของผู้บริหาร ลักษณะเป็นห้องเดี่ยว ได้แก่ ห้องนั่งทำงานของผู้บริหารระดับสูงของหน่วยงาน เช่น ระดับผู้จัดการขึ้นไป ระดับคณบดีขึ้นไป หรือระดับหัวหน้ากองขึ้นไป เป็นต้น ห้องทำงานระดับนี้ส่วนมากภายในห้องจะบรรจุไปด้วยโต๊ะทำงานขนาดใหญ่ เก้าอี้สำหรับผู้เข้าพบ ตู้เก็บเอกสาร และอาจมีชุดรับแขกเล็ก ๆ ด้วย ห้องระดับนี้จึงต้องการเนื้อที่จัดวางสิ่งของมาก ขนาดของพื้นที่ห้องที่เหมาะสมจะต้องไม่น้อยกว่า 9 ตารางเมตร และพื้นที่ห้องจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสก็ได้ตามความเหมาะสม

2. ห้องทำงานระดับหัวหน้างาน ลักษณะเป็นห้องเดี่ยว ได้แก่ ห้องนั่งทำงานของระดับหัวหน้างานต่าง ๆ เช่น หัวหน้ากลุ่มพนักงาน หัวหน้าภาควิชา เป็นต้น ในห้องทำงานจะบรรจุโต๊ะทำงาน เก้าอี้สำหรับผู้เข้าพบ และตู้เก็บเอกสารขนาดกลาง ขนาดของพื้นที่ห้องที่เหมาะสมจะต้องไม่น้อยกว่า 7 ตารางเมตร

3. ห้องทำงานระดับพนักงานทั่วไป ส่วนมากห้องทำงานระดับนี้จะเป็นห้องรวม คือ อยู่กันหลายคนในห้องเดี่ยว ได้แก่ ห้องทำงานของพนักงานห้องพักอาจารย์ เป็นต้น ในบางครั้งห้องทำงานของคณาจารย์ระดับนี้จะเป็นห้องเดี่ยวก็มี เช่น ห้องพนักงาน พิมพ์ดีด ห้องพนักงานรับโทรศัพท์ ห้องพักอาจารย์ เป็นต้น ภายในห้องทำงานระดับนี้จะบรรจุโต๊ะทำงานของผู้ทำงาน เก้าอี้สำหรับผู้มาติดต่อ ตู้เก็บเอกสาร เป็นต้น ขนาดของห้องมีพื้นที่ที่มากน้อยไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้ห้องโดยเฉลี่ยพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับพนักงาน 1 คน จะต้องไม่น้อยกว่า 5 ตารางเมตร

4. ห้องประชุม เป็นห้องที่ใช้ประโยชน์ในงานประชุมอบรม รวมถึงห้องเรียน เป็นต้น พื้นที่ในห้องส่วนหนึ่งเว้นว่างไว้ อีกส่วนหนึ่งสำหรับนั่งรวมกลุ่มกัน ขนาดของห้องมีพื้นที่ที่มากน้อยไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้ห้อง โดยเฉลี่ยพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้ห้องจะต้องไม่น้อยกว่า 2 ตารางเมตรต่อคน

- มาตรฐานของการจัดพื้นที่ห้องสุขา

พื้นที่ห้องสุขา ตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 63 (พ.ศ. 2551) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2535 (เรื่อง การจัดให้มีห้องน้ำและห้องสุขาในชนิดหรือประเภทของอาคารต่าง ๆ) ได้กำหนดลักษณะที่จะต้องมีการรักษาความสะอาดได้ง่าย และต้องมีช่องระบายอากาศไม่น้อยกว่าร้อยละสิบของพื้นที่ห้อง ความสูงระหว่างพื้นถึงเพดานต้องไม่ต่ำกว่า 2 เมตร ความกว้างภายในไม่น้อยกว่า 0.90 เมตร ห้องน้ำและห้องส้วมแยกกัน ต้องมีขนาดพื้นที่ภายในของแต่ละห้อง ไม่น้อยกว่า 1.90 ตารางเมตร จากหลักเกณฑ์การกำหนดจำนวนห้องสุขา

2.5 การออกแบบโรงงานผลิตอย่างถูกสุขลักษณะ

การออกแบบโรงงานอาหารอย่างถูกสุขลักษณะ (Hygienic Design in Food Plant) จะช่วยป้องกันอันตรายจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์และสารปนเปื้อนต่าง ๆ รวมทั้งยังช่วยเพิ่มความปลอดภัย และความสะอาดในการปฏิบัติงาน อีกทั้งยังเป็นการสร้างภาพพจน์ที่ดี และความเชื่อมั่นของลูกค้าในความเป็นระเบียบ และความสวยงามของอาคารผลิต ในการออกแบบโรงงานอาหารมีปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวข้องอย่างมากมาย จึงไม่ใช่เรื่องง่ายที่ต้องออกแบบและวางผังโรงงานได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์แบบที่สุด ดังนั้น การออกแบบจึงเป็นงานที่สำคัญ และต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญหลายสาขาวิชา เช่น สถาปนิก วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมเครื่องกล และนักวิชาการด้านอาหารที่มีความรู้และประสบการณ์ด้านความปลอดภัยของอาหารประเภทนั้น ๆ

การจัดสรรพื้นที่ควรให้ความสำคัญกับพื้นที่ที่ใช้ในการผลิตเป็นหลักโดยสามารถแบ่งบริเวณการผลิตออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

2.5.1 สถานที่เก็บวัตถุดิบ

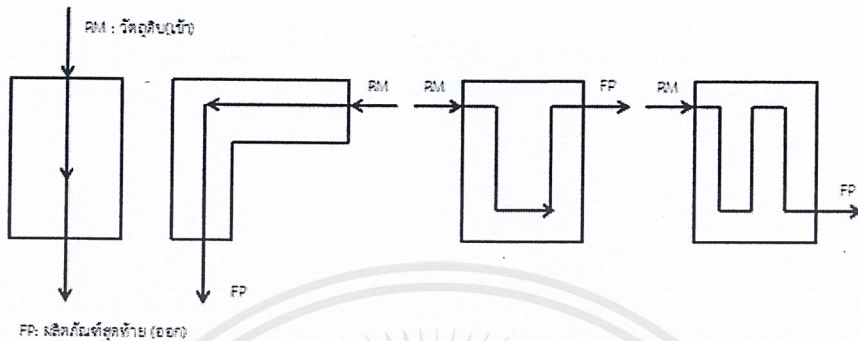
สถานที่รับวัตถุดิบควรอยู่บริเวณด้านหน้าของโรงงาน ต้องมีพื้นที่เพียงพอให้รถส่งวัตถุดิบจอดได้ และมีการขนย้ายวัตถุดิบด้วยรถยกได้อย่างสะดวก การขนส่งและขนถ่ายวัตถุดิบมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับประเภทของโรงงาน เช่น นม น้ำมัน จะขนส่งด้วยรถแทงก์ (Tanker) และวัตถุดิบจะถูกปั๊มเข้าถังเก็บของโรงงาน ข้าวหรือวัตถุดิบประเภทธัญพืชและแป้งจะบรรจุในกระสอบหรือภาชนะขนาดใหญ่ขนส่งโดยรถบรรทุก และใช้แรงงานคนหรืออุปกรณ์การยก หรือใช้สายพานลำเลียงในการขนถ่ายวัตถุดิบเมื่อถึงโรงงาน การขนส่งผักผลไม้ มักมีดินและแมลงติดมากับวัตถุดิบ จึงควรมีบริเวณสำหรับล้างสิ่งสกปรกและไล่แมลงก่อนเข้าสู่บริเวณผลิต นอกจากนี้รถบรรทุก รถยก ก็เป็นสาเหตุของการปนเปื้อนดิน ฝุ่น และน้ำมันรถ จึงควรดูแลความสะอาดบริเวณรับวัตถุดิบ และป้องกันไม่ให้มีการปนเปื้อนของน้ำมันรถที่อาจหยดตามพื้นโดยการไม่ให้มีการวางวัตถุดิบบนพื้น รวมทั้งตรวจสอบความสะอาดและสภาพของรถขนส่งและรถยก อนึ่งโรงงานควรมีการทำความเข้าใจกับบริษัทขนส่งวัตถุดิบให้มีการตรวจสอบความสะอาดของรถบรรทุก และไม่ใช้รถบรรทุกนั้นขนสินค้าอื่นที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เช่น ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง หากมีการขนส่งสินค้าอันตรายดังกล่าวบริษัทขนส่งจะต้องล้างทำความสะอาดรถก่อนนำรถนั้นมาใช้ขนส่งวัตถุดิบอาหาร

2.5.2 สถานที่เก็บวัตถุดิบและภาชนะบรรจุ

สถานที่เก็บวัตถุดิบและภาชนะบรรจุ ควรกันห้องจัดเก็บวัตถุดิบและภาชนะบรรจุให้เป็นสัดส่วน เพื่อให้สามารถรักษาความสะอาดและควบคุมสัตว์นำโรคได้ ไม่ควรเก็บวัตถุดิบในที่โล่ง ห้องจัดเก็บวัตถุดิบควรมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบที่จัดเก็บนั้น ๆ การจัดเก็บวัตถุดิบต้องวางบนชั้นหรือพาเลต ห้ามวางไว้กับพื้น การจัดเก็บต้องวางให้มีเนื้อที่ห่างกันเพียงพอ เพื่อให้สามารถทำความสะอาดได้โดยรอบ และเพื่อให้อากาศถ่ายเทได้ดี การจัดเก็บวัตถุดิบทุกชนิดควรมีป้ายแสดงวันหมดอายุ และมีระบบการจัดเก็บที่เป็นแบบ First in First out (FIFO) กล่าวคือ วัตถุดิบที่รับเข้ามาก่อนจะถูกนำไปใช้ก่อน ในกรณีของห้องจัดเก็บที่เป็นห้องแช่เย็น อาจมีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ การจัดเก็บจึงควรทำผังแสดงตำแหน่งการจัดเก็บให้ชัดเจน เพื่อควบคุมให้เกิดการหมุนเวียนของวัตถุดิบแบบ FIFO (กรกฎ, 2548)

2.5.3 สถานที่แปรรูปอาหาร

การวางแผนการผลิตควรให้สายการผลิตดำเนินไปเป็นเส้นตรง ตั้งแต่รับวัตถุดิบจนถึงผลิตภัณฑ์สุดท้าย และควรแบ่งกันพื้นที่ให้เป็นสัดส่วนเพื่อป้องกันการปนเปื้อนข้าม (Cross Contamination) อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น เนื้อที่การผลิต ทำให้ไม่สามารถจัดวางให้สายการผลิตเป็นเส้นตรงได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการวางแผนการผลิตที่พบในอุตสาหกรรมอาหาร

การวางสายการผลิตจึงจำเป็นต้องพิจารณาการจัดแบ่งพื้นที่บริเวณผลิตให้ชัดเจน กล่าวคือ ต้องแยกบริเวณที่มีโอกาสปนเปื้อนสูง หรือบริเวณที่ไม่จำเป็นต้องดูแลในเรื่องความสะอาดมากนัก (Low Care Area) เช่น บริเวณรับวัตถุดิบ บริเวณล้าง บริเวณตัดแต่งวัตถุดิบ เป็นต้น นอกจากบริเวณที่ต้องควบคุมดูแลความสะอาดเป็นพิเศษ (High Care Area) เช่น บริเวณตัดเลือกหรือบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้ว บริเวณจัดเก็บอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อและกระป๋องยังเปียกอยู่ ในข้อกำหนดประเทศสหรัฐอเมริกาจะเรียกบริเวณจำกัดนี้ว่า (Restricted Area) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนข้าม (Cross Contamination) ทั้งของผลิตภัณฑ์เองและผู้ปฏิบัติงาน

ทางเข้าบริเวณผลิตทุกทางเข้า ควรจัดให้มีที่ล้างมืออย่างเพียงพอสำหรับพนักงานทุกคน ก๊อกน้ำสำหรับล้างมือควรเป็นชนิดเท้าเหยียบหรือดันด้วยเข่า หรือเป็นแบบใช้ควบคุมอัตโนมัติ หรือ Sensor ควบคุมการปิดเปิดก๊อกน้ำด้วยสัญญาณแสง และอ่างน้ำยาฆ่าเชื้อสำหรับจุ่มฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคบนมือพนักงานหลังการล้าง รวมทั้งอุปกรณ์ทำให้มือแห้ง

การจัดวางเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต ต้องจัดวางให้สะดวกต่อการผลิต ควรวางห่างจากฝาผนังและเพดานอย่างน้อย 1 เมตร ในทำนองเดียวกัน เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องวางห่างกันอย่างน้อย 2 เมตร และสูงจากพื้นอย่างน้อย 20 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย การวางท่อสายไฟต่าง ๆ ต้องง่ายต่อการทำความสะอาด การตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องจักร อุปกรณ์และภาชนะบรรจุที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร ต้องออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน และที่สำคัญต้องล้างทำความสะอาดได้ง่าย การนำภาชนะอื่น ๆ มาดัดแปลง ควรพิจารณาถึงความยากง่ายต่อการทำความสะอาดด้วย เครื่องจักรต่าง ๆ ต้องถอดล้างทำความสะอาดได้อย่างทั่วถึง

2.5.4 สถานที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Finished Product Storage)

สถานที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์สุดท้ายต้องทำด้วยวัสดุที่แข็งแรงทนทานและมีเนื้อที่เพียงพอ นอกจากนี้ยังควรมีสภาพแวดล้อมที่คงที่สม่ำเสมอ เหมาะสมกับการจัดเก็บผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ซึ่งได้แก่มีอุณหภูมิและความชื้นพอเหมาะ มีการหมุนเวียนของอากาศดี สามารถควบคุมแมลงและเอ็กสาร์เป็นเอ็กสาร์ทที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัตว์นำโรคได้ มีการหมุนเวียนของผลผลิตที่มีประสิทธิภาพ ผู้มีหน้าที่วางแผนผังห้องปฏิบัติการ การผลิตต้องปรึกษากับฝ่ายต่าง ๆ เกี่ยวกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และร่วมกันกำหนดว่าบริเวณใด ควรเป็น Low Care Area และบริเวณใดควรเป็น High Care Area จากนั้นกันแบ่งสัดส่วน ระหว่าง High Care Area และ Low Care Area ออกจากกัน แล้วกำหนดทางเข้าออกของ พนักงานในบริเวณต่าง ๆ ให้มีทางเข้าและทางออกแต่ละบริเวณแยกจากกันด้วย เพื่อป้องกันการ ปนเปื้อนข้าม กำหนดห้องเปลี่ยนเสื้อผ้าและรองเท้าของพนักงาน บริเวณล้างมือของแต่ละจุด งานกำหนดทางเข้าของวัตถุดิบ วัสดุหีบห่อและกล่อง กำหนดทางออกของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่ง ต้องเป็นบริเวณที่แยกจากทางเข้าออกของพนักงาน ทั้งนี้ต้องพิจารณาการปนเปื้อนข้าม (Cross Contamination) เป็นปัจจัยสำคัญ ดังนั้น ควรเขียนผังบริเวณต่าง ๆ พร้อมทั้งใส่ลูกศรแสดง ทางเข้าออกของพนักงาน วัตถุดิบ วัสดุหีบห่อ และผลิตภัณฑ์สุดท้าย เพื่อให้สามารถสังเกตจุดที่มี โอกาสปนเปื้อนข้ามได้ และรีบแก้ไขก่อนที่จะดำเนินการแบ่งพื้นที่

2.6 การออกแบบอาคารโรงงานและโครงสร้าง

การออกแบบโรงงานควรคำนึงถึง ความมั่นคง แข็งแรงของโครงสร้าง เพื่อความปลอดภัย รวมถึง ความสวยงาม และความสะอาดสบายในการทำงาน โดยมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

2.6.1 ลักษณะโครงสร้างโรงงานผลิต

การสร้างอาคารโรงงานมักจะสร้างเป็นรูปตัว I L E T U H หรือ F ขึ้นอยู่กับความ ต้องการด้านการไหลของวัสดุ และเพื่ออาศัยแสงจากธรรมชาติมาใช้เป็นแสงสว่างในการทำงาน แต่ในปัจจุบันการออกแบบอาคารโรงงานจะอาศัยแสงสว่างจากระบบไฟฟ้ามากกว่าจาก ธรรมชาติ จึงทำให้การออกแบบอาคารโรงงานในปัจจุบันเป็นแบบรูปสี่เหลี่ยม อีกทั้งอาคารรูป สี่เหลี่ยมจะเป็นอาคารที่มีความยืดหยุ่นสูงกว่าในการรองรับการออกแบบผังโรงงาน ง่ายต่อการ เปลี่ยนแปลง ดังนั้นโรงงานที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของผลิตภัณฑ์บ่อย ๆ หรือขบวนการผลิต ที่ล้ำสมัยเร็ว อาคารโรงงานที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะเหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนแปลง ดังกล่าวรูปทรงอาคารโรงงานมีหลายชนิด ซึ่งการออกแบบจำเป็นต้องสรรหามาให้เหมาะสมกับ ความต้องการของระบบการผลิต ลักษณะอาคารโรงงานโดยทั่ว ๆ ไปมีอยู่ 3 แบบ คือ

1. อาคารโรงงานแบบชั้นเดียว
2. อาคารโรงงานแบบหลายชั้น
3. อาคารโรงงานแบบมอริเตอร์

อาคารโรงงานจะเป็นแบบชั้นเดียวหรือหลายชั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการผลิตของ อุตสาหกรรมแต่ละรูปแบบ และทำเลที่ตั้งของโรงงาน โรงงานที่ตั้งอยู่ในตัวเมืองมักจะเป็น แบบหลายชั้น ทั้งนี้เนื่องจากราคาที่ดินค่อนข้างสูง ส่วนโรงงานที่สร้างเป็นแบบชั้นเดียว ระบบการขนส่งทั้งคนงานและวัสดุทำได้ในวงกว้างกว่า แต่ทำเลที่ตั้งของโรงงานส่วนใหญ่จะ อยู่นอกเมืองหรือตามชนบทเพราะค่าที่ดินจะต่ำกว่ามาก อย่างไรก็ตามโรงงานที่มีหลาย ๆ ชั้นก็มีข้อดีอยู่ในกรณีทำการขนถ่ายวัสดุ-สินค้า สามารถใช้แรงโน้มถ่วงของโลกได้มาก อัน เป็นการประหยัดพลังงานได้ดีกว่า และเป็นข้อดีในกรณีที่ตั้งโรงงานมีเนื้อที่จำกัดและเหมาะ สำหรับพื้นที่อาคารรับน้ำหนักไม่มาก หรือเป็นการป้องกันการสูญเสียความร้อนหรือความเย็น ทางหลังคา

โครงสร้างอาคารโรงงาน อาจเป็นโครงสร้างแบบตายตัว หรือเป็นแบบถอดประกอบได้ การสร้างมักจะใช้เหล็กและคอนกรีต แต่ที่นิยมใช้กันมากก็คือ โครงสร้างเหล็ก ที่จับยึดโดยการเชื่อม หมุดย้ำ หรือด้วยวิธีอื่น ๆ

ในการออกแบบอาคารโรงงานและโครงสร้างควรได้คำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

1. ควรเป็นอาคารโรงงานชั้นเดียว เนื่องจากเหมาะสำหรับระบบการขนถ่ายวัสดุยุ่งยาก อันเนื่องมาจากเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก, พื้นอาคารที่สามารถรับน้ำหนักได้มาก สามารถปรับเปลี่ยนผังโรงงานได้ง่าย
2. โครงสร้างอาคารแต่ละส่วนควรเป็นงานเชื่อม
3. ช่วงกว้างของเสาควรเป็นขนาด 6 × 12 เมตร และ 9 × 15 เมตร เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า
4. ควรออกแบบอาคารโรงงานแบบง่าย เพื่อให้มีความยืดหยุ่นสูง
5. พื้นควรสร้างด้วยคอนกรีต เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักได้มาก
6. ผนังที่กันเป็นส่วน ๆ ภายในหรือกันแบ่งแผนก ควรง่ายต่อการเปลี่ยนแปลง
7. หลักระเบียบ และแบบโมนิเตอร์ (monitor)
8. มีหน้าต่างหลายบาน หรือมีกรอบที่ใช้กระจกกันมาก
9. ควรมีสิ่งที่น่าสนใจตรงบริเวณประตูเข้า-ออกของคนงาน
10. สีที่ใช้ทาภายในควรเป็นสีสุภาพ และสว่าง เช่น สีเทา, สีขาว
11. ภายนอกโรงงานควรมีสิ่งที่น่าสนใจเพิ่มขึ้น ทั้งรูปทรงอาคารโรงงาน และภูมิทัศน์รอบๆ อาคาร
12. ควรใช้บริเวณที่เป็นพื้นสำหรับการเก็บวัสดุ - สินค้า, การบริการด้านสิ่งอำนวยความสะดวก และเป็นเส้นทางขนส่งระหว่างจุดต่าง ๆ
13. ควรจะมีสิ่งต่าง ๆ ที่ดึงดูดใจคน
14. ควรมีการเตรียมการในแผนการขยายอาคารของงานในอนาคต
15. ความสูงของเพดาน ประมาณ 3 - 4.5 ม. โดยไม่รวมถึงระบบเครื่องปรับอากาศ ระบบระบายอากาศ และอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุส่วนที่อยู่เหนือหัว
16. คำนึงถึงจุดที่จะติดตั้ง และจับยึดระบบการระบายอากาศ ระบบเครื่องปรับอากาศ และระบบอุปกรณ์การขนถ่ายวัสดุ
17. ฐานปรับระดับ เพื่อการเอาของขึ้นลงจากรถบรรทุก
18. พื้นทีบริการ และคลังวัสดุ-สินค้า

2.6.2 พื้นโรงงานผลิต

พื้นอาคารโรงงานต้องมีความแข็งแรงพอที่จะรองรับเครื่องจักรอุปกรณ์และสินค้า พื้นอาคารสำหรับการติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ควรมีความแข็งแรงกว่าพื้นอาคารที่ทำการบรรจุหีบห่อ หรือคลังวัสดุสินค้า นั่นคือ ความต้องการความแข็งแรงของพื้นขึ้นอยู่กับลักษณะงาน ระดับและความสม่ำเสมอของพื้นอาคารโรงงานควรจะเรียบอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งอาคาร ซึ่งเป็นผลดีต่อระบบการขนถ่ายวัสดุ นอกจากนั้นยังเป็นการช่วยในการรักษาความสะอาดและสร้างความปลอดภัย

2.6.2.1 ลักษณะของวัสดุที่ใช้ในการทำพื้นอาคารที่ดี ต้องมีความแข็งแรง และควรมีลักษณะดังนี้

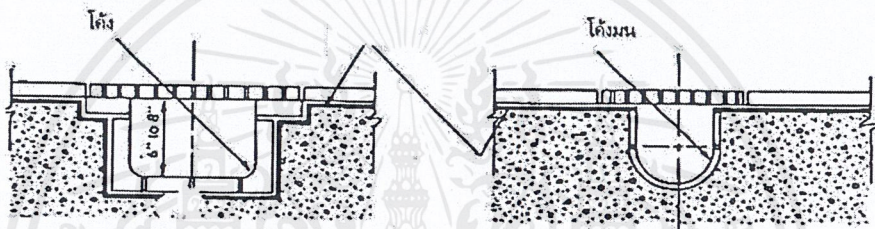
- ต้องมีความทนทาน
- เดินได้สะดวกสบาย
- มีความต้านทานการสั่นสะเทือน
- เมื่อเครื่องมือ และชิ้นส่วนตกหล่นพื้นไม่เสียหาย
- วัสดุราคาไม่แพง และการติดตั้งเสียค่าใช้จ่ายในการเตรียมพื้นไม่มาก
- หลังจากทำการติดตั้งแล้วใช้เวลารอคอยไม่นาน
- ไม่ทำให้เกิดเสียงสะท้อนมาก
- เป็นฉนวนความร้อนและความเย็น
- พื้นผิวเรียบไม่ขรุขระทุกสภาวะ
- ไม่เกิดประกายไฟ ขณะที่มีการสัมผัสหรือกระทบ
- ทำความสะอาดได้ง่าย
- จับยึดหรือติดตั้งเครื่องจักร และอุปกรณ์ได้ง่าย
- มีให้เลือกหลายสี
- ต้องมีคุณสมบัติที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและความชื้น

โรงงานส่วนใหญ่มักใช้คอนกรีตเป็นฐานในการทำพื้น และเคลือบด้วยวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน แรงกระแทกและแรงเฉือน เช่น อีพ็อกซีเรซิน (Epoxy Resin) โพลีเอสเตอร์เรซิน (Polyester Resin) หรืออะครีลิกเรซิน (Acrylic Resin) หรือยาง คลอรีเนตเต็ดบิวทาไดอิน และสไตรีน (Chlorinated and Styrene Butadiene Rubber) หรือทาสีประเภทไบทูมินัส (Bituminous Paints) หรือทาสีไม้ สารเคลือบประเภทเรซินมีข้อดีหลายอย่างคือ มีความทนทานต่อสารเคมี ไม่ขึ้นรา ทำความสะอาดง่ายและไม่ลื่น อีพ็อกซีเรซินเป็นสารเคลือบที่นิยมใช้กันมาก เพราะทนทานต่อแรงกระแทกและสารเคมี แม้ว่าจะไม่ค่อยทนทานต่อแรงเฉือนและดูดซับน้ำได้บ้าง พื้นคอนกรีตที่ไม่เคลือบด้วยวัสดุอื่นใดเลย มีข้อเสียคือ ไม่ทนทาน ไม่ทนต่อกรด ฉาบให้เรียบเสมอกันได้ยาก เมื่อหดตัวจะแตกเป็นฝุ่นผงได้ง่าย ดูดซับน้ำได้ ทำให้เป็นแหล่งสะสมของเชื้อจุลินทรีย์ พื้นโรงงานหลายแห่งทำด้วยกระเบื้อง (Tiles) ซึ่งไม่ดูดซับน้ำ ใช้ได้นาน ทำความสะอาดได้ แต่มักแตกแยกได้ง่าย รอยแตกจะเป็นแหล่งสะสมของเชื้อจุลินทรีย์ กระเบื้องอาจทำด้วยเซรามิก ซึ่งไม่ลื่น ทนทานต่อสารเคมีและทำความสะอาดได้ง่าย หากเป็นพื้นโรงงานบริเวณที่เปียกนาน ๆ อาจใช้อิฐ แต่พื้นล่างต้องรองด้วยแผ่นกันน้ำไว้ เพื่อป้องกันน้ำซึมลงด้านล่าง เพราะสารเชื่อมอิฐมักเชื่อได้ไม่ดีนักและไม่คงทน

พื้นควรลาดเอียงเพียงพอที่จะระบายน้ำได้ กล่าวคือ ควรลาดเอียงลงสู่ทางระบายน้ำ ซึ่งไม่ควรห่างมากกว่า 5 เมตร โดยทำมุม 1 ใน 40 หรือ 1 ใน 60 เพื่อไม่ให้เกิดน้ำนองพื้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และอาจทำให้พนักงานลื่นหกล้มได้ ทิศทางการลาดเอียงของพื้น ควรให้น้ำจากส่วนสะอาดไหลไปยังส่วนสกปรก เพื่อป้องกันการปนเปื้อนข้าม

2.6.2.2 ทางระบายน้ำ (Drains)

ทางระบายน้ำต้องมีเพียงพอที่จะระบายน้ำทิ้งระหว่างการผลิตได้ทัน ขนาดและจำนวนทางระบายน้ำจะขึ้นกับประเภทของอาหารที่ผลิตและปริมาณน้ำทิ้ง ท่อหรือทางระบายน้ำควรมีตะแกรงดักเศษอาหารเพื่อไม่ให้ท่ออุดตัน ปลายท่อระบายน้ำที่ออกสู่นอกอาคารต้องมีตะแกรงปิดกั้นไม่ให้หนูเข้ามาในบริเวณผลิตได้ ท่อระบายน้ำควรมีความลาดเอียงให้น้ำไหลได้สะดวก ไม่ขังนิ่ง และลึกเพียงพอ ไม่ให้น้ำเอ่อล้น ท่อควรทำด้วยวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน เช่น เหล็กปลอดสนิม (Stainless Steel), PVC เป็นต้น ภายในท่อควรโค้งมน ดังแสดงในรูปที่ 2.19 เพื่อให้ทำความสะอาดได้ง่าย ฝาปิดท่อในบริเวณผลิตซึ่งมีไว้เพื่อความปลอดภัยและป้องกันไม่ให้พนักงานเดินตกท่อ ควรโปร่งมองเห็นภายในท่อได้ และสามารถล้างทำความสะอาดได้ง่าย ไม่ควรใช้ฝาปิดท่อแบบทึบ เพราะจะไม่สามารถมองเห็นความสกปรกภายในท่อได้ พนักงานก็จะละเลยการทำความสะอาดภายในท่อ



รูปที่ 2.19 แสดงท่อระบายน้ำโค้งมน
ที่มา: กรกฎ (2548)

2.6.3 หลังคาและเพดาน

การซ่อมและบำรุงรักษาหลังคาเป็นปัญหาที่ยุ่งยาก ดังนั้นในการออกแบบจะต้องพิจารณาในด้านต่าง ๆ อย่างรอบคอบ วัสดุที่ใช้ในการทำหลังคามีอยู่มากมายหลายชนิด และยังต้องคำนึงอีกว่าโครงสร้างหลังคา และเพดานของอาคารโรงงาน ต้องออกแบบให้แข็งแรงเพื่อรองรับหรือติดตั้งระบบปรับอากาศระบบระบายอากาศ ระบบแสงสว่าง ตลอดจนสิ่งสนับสนุนการผลิตในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านการขนถ่ายวัสดุ

หลังคาของโรงงานควรทำด้วยวัสดุทนทาน ไม้รั้วซีเมนต์ และป้องกันความร้อนจากแสงแดดได้ จึงควรทำด้วยกระเบื้อง ไม่ควรทำด้วยสังกะสี เพดานไม่ควรสูงหรือต่ำเกินไป ควรมีความสูงเพียงพอกับการทำงานของรถยก หรือเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ติดตั้งบริเวณนั้น ๆ เพื่อให้มีการระบายอากาศเพียงพอ การทำเพดานสูงเกินไปจะทำความสะอาดยาก มีการสะสมของหยากไย่ และอาจเป็นแหล่งชุกซ่อนทำรังของนกได้

เพดานใต้หลังคาควรเป็นแนวราบและเรียบ หากหลังคาโรงงานเป็นกระเบื้องลาดเอียง ก็อาจจำเป็นต้องทำฝ้าที่เป็นแนวราบและเรียบ ทำด้วยวัสดุทนทาน ไม่ดูดซับน้ำ มีสีอ่อน

ใต้เพดานหรือบริเวณที่อยู่เหนือศีรษะผู้ปฏิบัติงาน มักมีการเดินระบบท่อต่าง ๆ เช่น ท่อสายไฟ ท่อเครื่องปรับอากาศ ท่อน้ำ ท่อไอน้ำ เป็นต้น การเดินท่อต่าง ๆ เหล่านี้มักจะทำให้เกิดปัญหาทำให้ดูรก เป็นแหล่งสะสมของฝุ่นละอองและหยากไย่ และหากท่อน้ำรั่วหรือสีที่ทาหลุดร่อนก็จะหยดหรือตกลงไปในผลิตภัณฑ์ได้ ทำให้เกิดการปนเปื้อนในอาหาร ดังนั้นโรงงานหลายแห่งจึงมี

การกั้นฝ้าเพดานเพื่อใช้ระบบท่อต่าง ๆ อยู่เหนือฝ้าเพดาน หรือทำเป็นห้องใต้หลังคา เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาด ทำให้โรงงานเรียบร้อยและป้องกันการปนเปื้อนได้ แต่ฝ้าเพดานที่จัดทำขึ้นต้องแข็งแรงทนทาน เรียบ ไม่มีรอยแตกหรือรู และต้องมีช่องเปิด-ปิดเพื่อให้สามารถเข้าไปทำความสะอาดได้ ป้องกันการชุกชอนและทำรังของสัตว์นำโรค เช่น นก หนู นอกจากนี้ท่อต่าง ๆ ที่เห็นบนฝ้าเพดาน ควรเป็นท่อรูปทรงกลม และมีระยะห่างจากกันอย่างน้อย 4 เซนติเมตร รวมทั้งสูงจากฝ้าเพดานมากพอที่จะทำความสะอาดได้โดยง่าย

การกั้นฝ้าเพดานในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารของไทยมักจะเป็น Tee Bar (ทีบาร์) ซึ่งแม้ว่าจะมีช่องเปิดปิดทำความสะอาดได้ แต่ก็ทำได้ยากและไม่สามารถทำความสะอาดระหว่างปฏิบัติงานได้ นอกจากนี้ยังมีรอยแยก ดูดซับความชื้น ขึ้นราได้ง่าย โรงงานจึงควรหมั่นดูแลสภาพและความสะอาดของพื้นที่บนฝ้าเพดานอย่างสม่ำเสมอ

แสงสว่างในโรงงาน อาจได้มาจากแสงอาทิตย์ส่องผ่านหลังคาที่บางช่วงติดตั้งเป็นแผ่นใสหน้าต่างใต้หลังคาและประตู แต่อย่างไรก็ตาม โรงงานก็ยังจำเป็นต้องติดตั้งหลอดไฟตามบริเวณต่าง ๆ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน ระดับแสงสว่างที่เหมาะสมต่อประเภทงานต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ ก.1 โดยเฉพาะจุดที่มีการตรวจสอบ คัดเลือกสิ่งแปลกปลอมที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคต้องมีแสงสว่างเพียงพอที่จะทำให้มั่นใจได้ว่า พนักงานสามารถคัดแยกสิ่งแปลกปลอมนั้นออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลอดไฟที่ติดตั้งไม่ว่าจะเป็นหลอดไฟประเภทใดก็ตาม ต้องมีระบบการติดตั้งที่แข็งแรง ไม่ตกหล่นลงมาได้ง่าย หลอดไฟควรมีฝาครอบ เพื่อป้องกันการกระจายของเศษแก้วหากหลอดไฟเกิดระเบิดหรือแตก หากโรงงานไม่ต้องการทำฝาครอบ หลอดไฟเนื่องจากเหตุผลของการประหยัดพลังงาน ก็สามารถหาแผ่นฟิล์มพันรอบหลอดไฟป้องกันการกระจายของเศษแก้วเมื่อหลอดไฟแตกได้ ชนิดของหลอดไฟที่ใช้ในแต่ละบริเวณอาจแตกต่างกัน เช่น บริเวณรับวัตถุดิบ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อแมลง อาจใช้หลอดไฟสีเหลือง เพราะแมลงจะมองเห็นสีเหลืองเป็นสีดำ หรือมองเห็นเป็นที่มีด ทำให้ไม่เข้ามาในบริเวณดังกล่าว ส่วนบริเวณอื่น ๆ ก็สามารถเลือกใช้ชนิดของหลอดไฟที่ให้แสงสว่างเพียงพอต่อการปฏิบัติงานได้

2.6.4 ผนังและหน้าต่าง

ผนังอาคารโรงงาน มีทั้งภายนอกและภายในโรงงาน ซึ่งอาจมีความต้องการไม่เหมือนกัน ผนังภายนอกควรรับแรงได้ดีกว่า ส่วนผนังภายในจะมีเสาเป็นตัวช่วยรับแรง และรับส่วนที่ใช้ทำผนัง ควรเคลื่อนย้ายได้ง่าย ทั้งนี้เพื่อให้ผนังโรงงานมีความยืดหยุ่นสูง

ฝาผนังจะไม่ใช้ส่วนที่สัมผัสอาหารโดยตรง แต่หากฝาผนังมีเชื้อราเชื้อรา ก็จะสร้างสปอร์กระจายอยู่ในบรรยากาศของบริเวณผลิต ทำให้บรรยากาศในบริเวณผลิตสกปรก นอกจากนี้หากฝาผนังมีรอยแตกหรือเป็นรู ก็จะเป็นแหล่งชุกชอนของสัตว์นำโรคต่าง ๆ เช่น หนู แมลงสาบ เป็นต้น ดังนั้น ฝาผนังจึงจำเป็นต้องทำด้วยวัสดุที่ทนทานต่อแรงกระแทกและสารเคมี ไม่ดูดซับน้ำ เรียบ ทำความสะอาดได้ง่าย ไม่สึกกร่อนเนื่องจากน้ำยาทำความสะอาดและสารฆ่าเชื้อ รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการผลิตอาหารด้วย ดังนั้นฝาผนังส่วนที่ติดกับพื้นอาจใช้วัสดุที่ทนแรงกระแทก ทนต่อการกัดกร่อน และทนความร้อนได้ นอกจากนี้ ฝาผนังส่วนที่ติดกับพื้นควรฉาบไ้สูงชันจากพื้น 15 เซนติเมตร เพื่อให้ล้างทำความสะอาดได้ง่าย ไม่เป็นที่สะสมของฝุ่นและสิ่งสกปรก และอาจสร้างเสาโลหะป้องกันฝาผนังจากการชนของรถยกฝาผนังควรใช้สีอ่อน สีที่ใช้ควรเป็นสีที่

ปราศจากสารตะกั่วและโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค กรณีมีสีหลุ่ดร้อนและปลิวลงในผลิตภัณฑ์อาหาร

โรงงานผลิตอาหารในประเทศไทยนิยมใช้กระเบื้อง ซีเมนต์ หรืออิฐเป็นวัสดุในการสร้างฝาผนัง การใช้กระเบื้องหรืออิฐจำเป็นต้องดูแลให้รอยฉาบต่อระหว่างแผ่นกระเบื้องหรืออิฐเรียบเสมอกันและสารที่ใช้ฉาบต้องไม่ดูดซับน้ำรวมทั้งไม่หลุ่ดร้อนง่ายด้วย

หน้าต่างมีไว้เพื่อให้แสงสว่างลอดผ่านเข้าในบริเวณนั้น ๆ ได้ รวมทั้งช่วยให้หัวหน้างานสามารถมองเห็นส่วนผลิตได้ง่าย ทำให้ควบคุมและตรวจสอบการทำงานของพนักงานได้ด้วย หน้าต่างก็เช่นเดียวกับประตู ควรทำด้วยวัสดุที่ไม่ซึมซับน้ำ สามารถทำความสะอาดและฆ่าเชื้อได้ง่าย ไม่ควรมีสวนประกอบที่ทำด้วยไม้ บานกระจกควรใช้พลาสติกใสที่ทนความร้อนและทนทานต่อการขีดขูดเป็นรอย หากจำเป็นต้องเป็นบานกระจก ต้องติดฟิล์มเพื่อป้องกันการแตกกระจายของเศษกระจก กรณีกระจกแตก

หน้าต่างบริเวณผนังรอบอาคารควรเป็นบานหน้าต่างติดถาวร ไม่ควรเปิด-ปิดได้ หากจำเป็นต้อง เป็นบานเปิด-ปิดเพื่อระบายอากาศหรือความร้อน ต้องติดมุ้งลวดที่มีตาข่ายถี่เพียงพอที่จะป้องกันแมลงและนกได้ มุ้งลวดนี้ต้องสามารถถอดล้างได้ง่าย การไม่เปิดหน้าต่างจะทำให้สามารถควบคุมคุณภาพความสะอาดของอากาศภายในโรงงานได้ นอกจากนี้ โรงงานอุตสาหกรรมอาหารมักจะประสบปัญหาจากแมลงหวี่ซึ่งมีขนาดเล็ก สามารถลอดผ่านมุ้งลวดได้ จึงควรพิจารณาให้มีการปิดหน้าต่างไว้ตลอดเวลา

หน้าต่างควรปิดได้สนิท ไม่เป็นช่องโหว่รอบขอบบานหน้าต่าง ขอบฐานหน้าต่างควรเอียงทำมุมอย่างน้อย 45 องศา ทั้งด้านในและด้านนอกอาคาร เพื่อไม่ให้เป็นที่สะสมของฝุ่นละอองและล้างทำความสะอาดได้ง่าย นอกจากนี้ ความลาดเอียงของขอบหน้าต่างด้านนอกจะช่วยป้องกันไม่ให้เป็นที่เกาะของนก หรือไม่ให้เส้นทางเดินของสัตว์นำโรคบางชนิด ส่วนความลาดเอียงของขอบหน้าต่างด้านในจะช่วยป้องกันไม่ให้เป็นที่วางวัสดุต่าง ๆ ของพนักงาน เช่น นอต ตะปู และกระดาษชำระ เป็นต้น

การตัดสินใจว่าจะสร้างฝาผนังให้มีหน้าต่างมากน้อยหรือไม่นั้น การพิจารณาต้องคำนึงถึงความสำคัญของผลิตภัณฑ์กับลักษณะภูมิอากาศในทำเลของโรงงานนั้น ๆ บางทำเลสภาวะแวดล้อม มีอิทธิพลที่จะทำให้โรงงานมีหน้าต่างน้อยที่สุดดังเช่น

- งานอาจได้รับความเสียหาย เนื่องจาก ฝุ่น ความสกปรกและเปรอะเปื้อน
- การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น และแสง มีผลกระทบต่ออุตสาหกรรมบางประเภท
- สภาพภูมิอากาศที่ร้อนจัด หรือเย็นจัด
- คนงานและงานมีผลกระทบจากเสียงภายนอก
- ค่าใช้จ่ายของระบบแสงสว่างจากกระแสไฟฟ้าไม่แพง

นอกจากนั้น โรงงานที่มีหน้าต่างน้อย อาจเป็นผลดีต่อโรงงาน ทั้งนี้เพื่อจะได้เสริมสร้างสมาธิในการทำงานของคนงาน อันทำให้ผลผลิตที่ได้สูงกว่า เกิดอุบัติเหตุน้อยกว่า และยังเป็น การป้องกันของหายและกันขโมยได้อีกด้วย

2.6.5 ประตู

ประตูควรทำด้วยวัสดุที่มีผิวเรียบ ไม่ซึมน้ำ สามารถทำความสะอาดและฆ่าเชื้อได้ง่าย ประตูควรทำด้วยโลหะ ไม่ควรทำด้วยไม้หรือติดกระจก หากติดกระจกต้องติดฟิล์มป้องกันการกระจายของกระจกกรณีกระจกแตก ประตูต้องปิดได้สนิทและแนบพอดีกับวงกบ ไม่มีช่องระหว่างประตูกับผนัง และประตูกับพื้น วงกบควรทำด้วยโลหะหรือเหล็กปลอดสนิม (Stainless Steel)

ขอบวงกบควรพอดีกับผนัง เพื่อป้องกันการสะสมของฝุ่นและสิ่งสกปรก ประตูควรสามารถเปิดปิดได้เองโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปิดประตูค้างไว้ และป้องกันการปนเปื้อนจากมือของพนักงานด้วย ประตูที่เปิดออกสู่ภายนอกอาคารต้องติดม่านพลาสติก ซึ่งเป็นแผ่นพลาสติกที่ซ้อนกันเพียงพอที่จะป้องกันแมลงได้ หรือติดม่านอากาศ (Air Curtain) ม่านพลาสติกมักสกปรกและขาดง่าย โรงงานหลายแห่งจึงนิยมติดม่านอากาศ ซึ่งก็อาจมีปัญหาจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นและสิ่งสกปรกที่อยู่บนพื้นได้ จึงควรพิจารณาให้เหมาะสมกับการใช้งานบริเวณนั้น ๆ

ประตูที่เปิดมาสู่อาคารภายนอก เช่น ประตูบริเวณรั้ววัตถุดิบ บริเวณทิ้งขยะ ควรเป็นประตูสองชั้น เพื่อป้องกันไม่ให้แมลงเข้าสู่อาคารได้โดยตรง การเปิดประตูก็ต้องเปิดเพียงประตูเดียวขณะใช้งาน เช่น เปิดประตูด้านนอกรั้ววัตถุดิบ ขณะที่ประตูด้านในที่เปิดเข้าสู่บริเวณผลิตปิดอยู่ เมื่อรั้ววัตถุดิบเสร็จแล้วก็ปิดประตูด้านนอก แล้วค่อยเปิดประตูด้านในนำวัตถุดิบเข้าบริเวณผลิต เป็นต้น

2.6.6 การระบายอากาศ การควบคุมอากาศและอุณหภูมิภายในโรงงาน

การระบายอากาศและความชื้นเนื่องจากกระบวนการผลิต เป็นสิ่งสำคัญต่อคุณภาพและความปลอดภัยของอาหารที่ผลิต รวมทั้งสุขภาพและความสบายของผู้ปฏิบัติงานด้วย การระบายอากาศที่ดีจะลดปัญหาการกลั่นตัวของหยดน้ำตามเครื่องจักร ท่อ ฝาผนัง ประตู หน้าต่าง ซึ่งเป็นสาเหตุของอาการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ ความชื้นที่เกิดจากการกลั่นตัวของหยดน้ำยังเป็นสาเหตุของการเกิดเชื้อราตามฝาเพดาน ผนัง และอุปกรณ์ต่างๆด้วย ยิ่งไปกว่านั้นความชื้นยังทำให้สีที่ทาตามฝาเพดาน, กำแพง หรือเครื่องจักรต่าง ๆ หลุดร่อนปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อาหารได้ ความชื้นยังทำให้สารเคมีวัตถุอันตราย และส่วนผสมในสูตรอาหารจับตัวกันเป็นก้อน (Caking) หรือเป็นเมือกเหนียวติดภาชนะและเครื่องจักรต่าง ๆ ทำให้ล้างทำความสะอาดได้ยาก บางครั้งอาจทำให้คุณภาพของอาหารเปลี่ยนแปลงไปด้วย

การระบายอากาศยังมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดควันและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในโรงงานด้วยผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น แป้ง นมผง สามารถดูดซับกลิ่นได้ดี จึงจำเป็นต้องมีการระบายอากาศอย่างเพียงพอที่จะไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ลงไปในผลิตภัณฑ์

การระบายอากาศสามารถทำได้โดยการดูดอากาศออกจากเพดานหรือฝาผนังด้วยพัดลมดูดอากาศ ทำให้มีลมไหลเข้ามาทดแทน หรือโดยการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ลมที่เข้ามาในโรงงานควรผ่านการกรอง เพื่อลดการปนเปื้อนจากฝุ่น ผง และจุลินทรีย์จากภายนอก หากเป็นไปได้ควรให้ความดันอากาศภายในโรงงานสูงกว่าภายนอกเล็กน้อย เพื่อให้อากาศภายในโรงงาน ไหลออกสู่ภายนอก ซึ่งจะช่วยป้องกันการปนเปื้อนจากอากาศที่อาจเข้าไปตามช่องเปิดต่าง ๆ ของโรงงาน ไม่ว่าจะใช้วิธีการระบายอากาศด้วยวิธีใด โรงงานจะต้องดูแลรักษาความสะอาดของอุปกรณ์ที่ใช้ด้วย

เช่น ต้องหมั่นล้างทำความสะอาดตัวกรองในเครื่องปรับอากาศ และต้องติดตะแกรงหรือมุ้งลวดที่พัดลมดูดอากาศ ป้องกันแมลงและนกเข้าไปในอาคารขณะไม่ได้มีการเปิดพัดลมดูดอากาศ

การระบายอากาศตามที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการลดความชื้น กำจัดกลิ่น และยังทำให้อุณหภูมิในบริเวณห้องปฏิบัติการลดลงด้วย แต่สำหรับประเทศไทยซึ่งอากาศภายนอกค่อนข้างร้อน การระบายอากาศโดยการนำเอาอากาศจากภายนอกเข้ามาในโรงงานจะไม่ช่วยลดอุณหภูมิของบริเวณผลิต จึงควรพิจารณาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานในบริเวณนั้น ๆ หากจำเป็นก็ต้องใช้เครื่องปรับอากาศ

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทจะแตกต่างกันเช่น โรงงานผลิตเนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ จำเป็นต้องรักษาอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ให้ไม่เกิน 10 องศาเซลเซียสอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการจึงจำเป็นต้องรักษาไว้ที่ 12-15 องศาเซลเซียส แล้วแต่กฎระเบียบของแต่ละประเทศ สำหรับผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ผู้ผลิตสามารถใช้น้ำแข็งแช่ผลิตภัณฑ์เพื่อช่วยลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ได้ แต่สำหรับการผลิตเนื้อสัตว์ การแช่น้ำแข็งจะทำให้คุณภาพและรสชาติของเนื้อสัตว์ลดน้อยลง จึงมีข้อจำกัดในการใช้ ซึ่งใช้ได้บางขั้นตอนนี้ ในโรงงานผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งซึ่งความร้อนไม่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มาก อุณหภูมิห้องปฏิบัติการอาจเป็น 25-30 องศาเซลเซียส เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานรู้สึกสบาย

สำหรับโรงงานในประเทศไทย อุณหภูมิบริเวณปฏิบัติงานอาจสูงถึง 27-40 องศาเซลเซียสแล้วแต่อุณหภูมิอากาศภายนอก การติดเครื่องปรับอากาศน่าจะเป็นสิ่งที่ดีในการควบคุมสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ และสะดวกสบายต่อผู้ปฏิบัติงาน แต่จะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย จึงมีการติดเครื่องปรับอากาศเฉพาะจุดที่ต้องการควบคุมบรรยากาศ เช่น ห้องคัดเลือกและบรรจุผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการความสะอาดเป็นพิเศษ เป็นต้น

ทิศทางการระบายอากาศที่ถูกต้องนั้น ควรให้อากาศจากบริเวณสะอาดไหลไปยังบริเวณที่ไม่สะอาด เพื่อป้องกันการปนเปื้อนข้าม (Cross Contamination) และอัตราการหมุนเวียนอากาศจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของงานในบริเวณนั้น ๆ เช่น บริเวณปรุงสุกที่มีความชื้นมาก อัตราการหมุนเวียนอากาศอาจสูงถึง 20 ครั้งต่อชั่วโมง แต่ในบริเวณจัดเก็บและบริเวณสำนักงาน อัตราการหมุนเวียนอากาศอาจต่ำลงจนถึง 1.5 ครั้งต่อชั่วโมง งานที่ต้องใช้แรงงานมากจำเป็นต้องมีการหมุนเวียนอากาศใหม่ค่อนข้างสูง เพราะผู้ปฏิบัติงานต้องการอากาศใหม่ ๆ ในการหายใจ ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานจะอยู่ในช่วง 30-70%

2.7 การประเมินต้นทุนเบื้องต้นอย่างรวดเร็ว ๆ (Rapid Cost Estimates)

ประมาณการค่าใช้จ่ายสำหรับการสร้างโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวแบบรวดเร็วนี้ เพื่อทำให้ทราบถึงต้นทุนที่ใช้ในการลงทุนสำหรับกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยอย่างรวดเร็ว ๆ โดยการประมาณการของต้นทุนขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ เครื่องจักรที่สำคัญ ความถูกต้องของการประมาณค่าใช้จ่ายแบบรวดเร็วจะขึ้นอยู่กับความน่าเชื่อถือของข้อมูลอุปกรณ์ เครื่องจักรที่มีอยู่ รายละเอียดคุณสมบัติของอุปกรณ์ ราคาที่ได้รับการรับรองจากผู้ขาย

การประมาณค่าความถูกต้องของค่าใช้จ่ายเงินทุนของโครงการสามารถทำได้โดยใช้วิธี Factorial (Factorial Method of Cost Estimation) โดยใช้หลักการของ Lang (1948) ที่เสนอว่าค่าใช้จ่าย

ต้นทุน Inside Battery Limit (ISBL) ของโรงงานจะได้รับเป็นฟังก์ชัน จากค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ทั้งหมดที่ซื้อเข้ามาโดยสมการ

$$C = F(\sum C_e)$$

เมื่อ C คือ ค่าใช้จ่ายต้นทุนทั้งหมดในสวน ISBL

C_e คือ ค่าใช้จ่ายรวมสำหรับอุปกรณ์ เครื่องจักรที่สำคัญที่ใช้ในกระบวนการผลิต

F คือ ค่า Lang factor

โดยค่า Lang factor ที่ใช้ขึ้นอยู่กับสภาพทางเศรษฐกิจในช่วงนั้น ๆ อ้างอิงจาก Marouli and Maroulis, 2005

$F = 3.10$ สำหรับโรงงานแปรรูปของแข็ง

$F = 4.70$ สำหรับโรงงานแปรรูปของเหลว

$F = 3.60$ สำหรับโรงงานแปรรูปแบบกึ่งของเหลว กึ่งของแข็ง

การประมาณการลงทุนคงที่เป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการออกแบบการก่อสร้างและติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องจักร โดยการลงทุนแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Inside Battery Limits (ISBL) และ Offsite Battery Limits (OSBL)

1. ค่าใช้จ่าย Inside Battery Limit (ISBL)

เป็นค่าใช้จ่ายของการจัดหาและติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องจักรทุกขั้นตอนที่ทำให้เกิดการก่อสร้างโรงงานขึ้น โดยค่าใช้จ่ายของ ISBL สามารถแบ่งรายละเอียดของค่าใช้จ่ายออกเป็นทางตรงและทางอ้อมเพื่อใช้ในการคำนวณได้ดังนี้

- อุปกรณ์ เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการสำคัญ ๆ ทั้งหมด เช่น เครื่องปฏิกรณ์, เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน, เครื่องแช่เย็น, บั้ม, มอเตอร์, เครื่องกรอง, เครื่องอบแห้ง ฯลฯ
- ท่อ, วาล์ว, สายไฟ, ฉนวนกันความร้อน, เครื่องมือวัดและระบบควบคุม ฯลฯ
- งานโยธาเช่น อาคารการผลิต สำนักงาน ถนน ระบบระบายน้ำ ฯลฯ
- แรงงานในการดำเนินการและการกำกับดูแล

นอกจากค่าใช้จ่ายด้านโดยตรงจะมีค่าใช้จ่ายทางอ้อม ซึ่งได้แก่

- ค่าใช้จ่ายสำหรับกิจกรรม หรือการทำงานชั่วคราว เช่น เช่าอุปกรณ์ (รถพ่วง, เสื้อผ้า, ฯลฯ), น้ำและพลังงานที่ใช้ในการผลิต ฯลฯ
- ค่าใช้จ่ายสำหรับทำงานล่วงเวลา
- ค่าประกันภัยโรงงาน
- ผลประโยชน์และภาระการทำงานของพนักงาน ประกันสังคม ค่าตอบแทนแรงงาน ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รายการค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด เช่น ค่าใช้จ่ายทางด้านกฎหมายภาษีอากร, ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าพิเศษ, ภาษีท้องถิ่น ค่าธรรมเนียมการจดสิทธิบัตรหรือลิขสิทธิ์, ค่าเสียหายขององค์กร ฯลฯ

2. ค่าใช้จ่าย Offsite Battery Limits (OSBL)

เป็นค่าใช้จ่ายนอกกระบวนการหรือเป็นการเพิ่มเติมที่จะต้องทำไปสำหรับโครงการในอนาคตที่จะรองรับการเพิ่มโรงงานใหม่หรือเพิ่มอัตรากำลังการผลิตของโรงงาน เงินลงทุนนอกกระบวนการนี้อาจรวมถึง

- สถานที่ผลิตไฟฟ้า, หม้อแปลงไฟฟ้า, สวิตช์และสายไฟ
- หม้อไอน้ำ, ไอน้ำ, คอนเดนเสท
- Cooling towers, ปัมป์ไหลเวียน, คุณภาพของน้ำเย็น
- ท่อระบายน้ำ
- เครื่องทำแห้งและเครื่องดูดอากาศที่ใช้ในกระบวนการ
- ระบบท่อ, การป้อนของเหลวภายในท่อ
- สิ่งอำนวยความสะดวกในการขนส่ง เช่น สายพาน, โกดัง, รถบรรทุก เป็นต้น
- ห้องปฏิบัติการ, สำนักงาน, โรงอาหาร, ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า, ห้องควบคุม
- การประชุมเชิงปฏิบัติการและการบำรุงรักษาและอำนวยความสะดวก
- การรักษาความปลอดภัย

Gerrard (2000) ได้ปรับเปลี่ยนค่า Factor จาก Lang โดยใช้ค่า Factor สำหรับแต่ละอุปกรณ์แต่ละส่วนมาใช้ในการประมาณการค่าใช้จ่ายอุปกรณ์คงที่ทั้งหมดทั้งในส่วนนอกกระบวนการ (OSBL) และในกระบวนการ (ISBL) โดยสามารถแยกคิดในแต่ละส่วนย่อยได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่า Factor ที่ใช้สำหรับประมาณค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่

ที่มา: Sinnott, R.K. (2005)

Item	Fluids	Process Type Fluids-Solids	Solids
1. Major equipment, total purchase cost	C_e	C_e	C_e
f_{er} Equipment erection	0.3	0.5	0.6
f_p Piping	0.8	0.6	0.2
f_i Instrumentation and control	0.3	0.3	0.2
f_{el} Electrical	0.2	0.2	0.15
f_c Civil	0.3	0.3	0.2
f_s Structures and buildings	0.2	0.2	0.1
f_l Lagging and paint	0.1	0.1	0.05
ISBL cost $C = \Sigma C_e \times$	3.3	3.2	2.5
Offsites (OS)	0.3	0.4	0.4
Design and Engineering (D&E)	0.3	0.25	0.2
Contingency (X)	0.1	0.1	0.1
Total fixed capital cost $C_{FC} = C(1 + OS)(1 + DE + X)$			
$= C \times$	1.82	1.89	1.82
$= \Sigma C_e \times$	6.00	6.05	4.55

สามารถใช้สมการที่ 2.1 หรือ 2.2 คำนวณประมาณการค่าใช้จ่ายในกระบวนการ Inside Battery Limit (ISBL)

$$C = \sum_{i=1}^M C_{e,i,cs} [(1 + f_p) f_m + (f_{er} + f_{el} + f_i + f_c + f_s + f_l)] \quad (2.1)$$

$$C = \sum_{i=1}^M C_{e,i,A} [(1 + f_p) + (f_{er} + f_{el} + f_i + f_c + f_s + f_l) / f_m] \quad (2.2)$$

เมื่อ $C_{e,i,cs}$ คือ ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ที่จัดซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละ i สำหรับวัสดุที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน

$C_{e,i,A}$ คือ ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ที่จัดซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละ i สำหรับวัสดุที่ทำจากโลหะผสม

M คือ จำนวนอุปกรณ์ทั้งหมด

f_p คือ ค่า Factor ของท่อ

f_{er} คือ ค่า Factor ของอุปกรณ์ เครื่องจักร

f_{el} คือ ค่า Factor สำหรับการดำเนินงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

f_i คือ ค่า Factor สำหรับเครื่องมือวัดและควบคุมกระบวนการ

f_c คือ ค่า Factor สำหรับการดำเนินงานทางวิศวกรรมโยธา

f_s คือ ค่า Factor สำหรับโครงสร้างและอาคาร

f_l คือ ค่า Factor ของฉนวนกันความร้อน

f_m คือ ค่า Factor ของวัสดุ โดยหาได้จากตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ค่า Factor (f_m) ของวัสดุเทียบกับเหล็กคาร์บอนธรรมดา
ที่มา: Sinnott, R.K. (2005)

Material	f_m
Carbon steel	1.0
Aluminum and bronze	1.07
Cast steel	1.1
304 stainless steel	1.3
316 stainless steel	1.3
321 stainless steel	1.5
Hastelloy C	1.55
Monel	1.65
Nickel and Inconel	1.7

ประมาณการค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ที่จัดซื้อ (Estimating Purchased Equipment Costs)

เป็นการประมาณค่าใช้จ่ายอุปกรณ์แต่ละชนิด โดยใช้ค่า Factor มาประมาณค่าใช้จ่าย การประมาณการที่ดีสำหรับค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ มักจะได้จากแหล่งที่ซื้อ จากตัวแทนผู้ขาย แต่สามารถใช้ราคาสำหรับอุปกรณ์ที่คล้ายกันมาประมาณการคำนวณ ในกรณีที่ไม่มีทราบราคาจริง

สำหรับการประมาณค่าใช้จ่ายด้านการออกแบบที่ขาดการเข้าถึงข้อมูลที่เชื่อถือได้ สามารถหาจากความสัมพันธ์ที่กำหนดในตารางที่ 2.6 เพื่อนำมาใช้สำหรับการประมาณการเบื้องต้นดังสมการ 2.3

$$C_e = a + bs^n \quad (2.3)$$

เมื่อ C_e คือ ค่าอุปกรณ์ที่ซื้อตามพื้นฐานของสหรัฐอเมริกา, มกราคม 2006

a, b คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ตามตารางที่ 2.6

s คือ ขนาดพารามิเตอร์ที่กำหนดดังตารางที่ 2.6

n คือ เลขชี้กำลังสำหรับอุปกรณ์แต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ราคาประมาณอุปกรณ์ เครื่องจักร

ที่มา: Sinnott, R.K. (2005)

Equipment	Units for Size, S	S _{Lower}	S _{Upper}	a	b	n	Note
<i>Agitators & mixers</i>							
Propeller	driver power, kW	5.0	75.0	4,300	1,920	0.8	
Spiral ribbon mixer	driver power, kW	5.0	35.0	11,000	420	1.5	
Static mixer	Liters/s	1.0	50.0	780	62	0.8	
<i>Boilers</i>							
Packaged, 15 to 40 bar	kg/h steam	5,000.0	200,000.0	4,600	62	0.8	
Field erected, 10 to 70 bar	kg/h steam	20,000.0	800,000.0	-90,000	93	0.8	
<i>Centrifuges</i>							
High-speed disk	diameter, m	0.26	0.49	63,000	260,000	0.8	
Atmospheric suspended basket	power, kW	2.0	20.0	37,000	1,200	1.2	
<i>Compressors</i>							
Blower	m ³ /h	200.0	5,000.0	4,200	27	0.8	
Centrifugal	driver power, kW	132.0	29,000.0	8,400	3,100	0.6	
Reciprocating	driver power, kW	100.0	16,000.0	240,000	1.33	1.5	
<i>Conveyors</i>							
Belt, 0.5 m wide	length, m	10.0	500.0	21,000	340	1.0	
Belt, 1.0 m wide	length, m	10.0	500.0	23,000	575	1.0	
Bucket elevator, 0.5 m bucket	height, m	10.0	35.0	14,000	1,450	1.0	
<i>Crushers</i>							
Reversible hammer mill	tonne/h	20.0	400.0	400	9,900	0.5	
Pulverizers	kg/h	200.0	4,000.0	3,000	390	0.5	
<i>Crystallizers</i>							
Scraped surface crystallizer	length, m	7.0	280.0	41,000	40,000	0.7	
<i>Distillation columns</i>							
See pressure vessels, packing, and trays							
<i>Dryers</i>							
Direct contact rotary	area, m ²	11.0	180.0	-7,400	4,350	0.9	1
Pan	area, m ²	1.5	15.0	-5,300	24,000	0.5	2
Spray dryer	evap rate kg/h	400.0	4,000.0	190,000	180	0.9	
<i>Evaporators</i>							
Vertical tube	area, m ²	11.0	640.0	17,000	13,500	0.6	
Agitated falling film	area, m ²	0.5	12.0	29,000	53,500	0.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ราคาประมาณอุปกรณ์ เครื่องจักรตาม (ต่อ)

ที่มา: Sinnott, R.K. (2005)

Equipment	Units for Size, S	S _{Lower}	S _{Upper}	a	b	n	Note
<i>Exchangers</i>							
U-tube shell and tube	area, m ²	10.0	1,000.0	10,000	88	1.0	
Floating head shell and tube	area, m ²	10.0	1,000.0	11,000	115	1.0	
Double pipe	area, m ²	1.0	80.0	500	1,100	1.0	
Thermosyphon reboiler	area, m ²	10.0	500.0	13,000	95	1.0	
U-tube Kettle reboiler	area, m ²	10.0	500.0	14,000	83	1.0	
Plate and frame	area, m ²	1.0	180.0	1,100	850	0.4	3
<i>Filters</i>							
Plate and frame	capacity, m ³	0.4	1.4	76,000	54,000	0.5	
Vacuum drum	area, m ²	10.0	180.0	-45,000	56,000	0.3	
<i>Furnaces</i>							
Cylindrical	duty, MW	0.2	60.0	53,000	69,000	0.8	
Box	duty, MW	30.0	120.0	7,000	71,000	0.8	
<i>Packings</i>							
304 ss Raschig rings	m ³			0	3,700	1.0	
Ceramic intalox saddles	m ³			0	930	1.0	
304 ss Pall rings	m ³			0	4,000	1.0	
PVC structured packing	m ³			0	250	1.0	
304 ss structured packing	m ³			0	3,200	1.0	4
<i>Pressure vessels</i>							
Vertical, cs	shell mass, kg	150.0	69,200.0	-400	230	0.6	5
Horizontal, cs	shell mass, kg	250.0	69,200.0	-2,500	200	0.6	
Vertical, 304 ss	shell mass, kg	90.0	124,200.0	-10,000	600	0.6	5
Horizontal, 304 ss	shell mass, kg	170.0	114,000.0	-15,000	560	0.6	
<i>Pumps and drivers</i>							
Single-stage centrifugal	flow liters/s	0.2	500.0	3,300	48	1.2	
Explosion-proof motor	power, kW	1.0	2,500.0	920	600	0.7	
Condensing steam turbine	power, kW	100.0	20,000.0	-19,000	820	0.8	
<i>Reactors</i>							
Jacketed, agitated	volume, m ³	0.5	100.0	14,000	15,400	0.7	
Jacketed, agitated, glass-lined	volume, m ³	0.5	25.0	13,000	34,000	0.5	
<i>Tanks</i>							
Floating roof	capacity, m ³	100.0	10,000.0	53,000	2,400	0.6	
Cone roof	capacity, m ³	10.0	4,000.0	5,700	700	0.7	
<i>Trays</i>							
Sieve trays	diameter, m	0.5	5.0	100	120	2.0	6
Valve trays	diameter, m	0.5	5.0	130	146	2.0	6
Bubble cap trays	diameter, m	0.5	5.0	200	240	2.0	6
<i>Utilities</i>							
Cooling tower & pumps	flow liters/s	100.0	10,000.0	61,000	650	0.9	7
Packaged mechanical refrigerator	evaporator duty, kW	50.0	1,500.0	4,900	720	0.9	
Water ion exchange plant	flow m ³ /h	1.0	50.0	6,200	4,300	0.7	

ความสัมพันธ์ในตารางที่ 2.6 จะใช้ได้เฉพาะระหว่างค่าล่างและบนของ S ตามที่ระบุ ส่วนราคาทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณใช้ได้สำหรับอุปกรณ์ประเภทเหล็กคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ เครื่องจักร สามารถนำมาประมาณค่าใช้จ่ายทั้งในกระบวนการ และนอกกระบวนการ ได้ดังสมการที่ 2.4

$$C_{FC} = C(1 + OS)(1 + DE + X) \quad (2.4)$$

เมื่อ	C_{FC}	คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ทั้งหมด
	OS	คือ ค่าใช้จ่ายนอกกระบวนการ
	DE	คือ ค่าวิศวกรรมการออกแบบ
	X	คือ Contingency

จากสมการที่ 2.4 สามารถหาค่าใช้จ่ายในการลงทุนจัดสร้างโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวแบบ คร่าว ๆ เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการลงทุนสร้างโรงงานได้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรกรฎ (2548) ทำการออกแบบ และวางผังโรงงานเพื่อรองรับระบบ HACCP โรงงานผลิตลูก ตาลกระป๋องในน้ำเชื่อม โดยทำการวิเคราะห์ความสอดคล้องของผังโรงงานกับหลักการวางผังโรงงาน (Plant Layout) เพื่อให้ผังโรงงานมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน เกิดการจัดสรรพื้นที่ให้มี ประสิทธิภาพสูงสุด มีระบบแสงสว่างและการระบายอากาศที่ดี รวมทั้งลักษณะการออกแบบอาคาร ผลิตอาหารที่ดี เพื่อให้ถูกสุขลักษณะ

ถวิน (2543) ทำการศึกษาเกษตรกรชาวสวนอาชีพผลิตน้ำตาลมะพร้าว กรณีศึกษาเกษตรกร ชาวสวนตำบลบางแค อำเภอมัทพวา จังหวัดสมุทรสงคราม โดยระบุถึงปัจจัยที่มีผลต่อการ เปลี่ยนแปลงอาชีพของเกษตรกรว่าเกิดจากปัญหาการขาดแคลนแรงงาน ความเบื่อหน่ายและความ เสี่ยงอันตรายในอาชีพ ต้นทุนการผลิตสูง การถูกชักชวนจากเพื่อนบ้านให้ไปประกอบอาชีพอื่น และการขาดการสนับสนุนและแก้ไขปัญหาย่างจริงจังจกภาครัฐ ทั้งนี้โดยมีปัญหาละเอียดอุปสรรคในการ ผลิตจากการที่เกษตรกรไม่มีอำนาจต่อรองราคา การคืนตัวของน้ำตาลมะพร้าวเร็ว และการถูกน้ำตาล ปลอมปนแย่งตลาดการจำหน่าย

เพ็ญ (2544) ทำการวิจัยเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อการอนุรักษ์การผลิตน้ำตาลมะพร้าว ศึกษากรณี อำเภอมะปราง จังหวัดสมุทรสงคราม พบปัญหาเรื่องแรงงาน เนื่องจากมีอายุมากขึ้นไม่ไหว เสี่ยงต่อการ เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย เกษตรกรร้อยละ 58.5 มีปัญหาเกี่ยวกับราคาเนื่องจากไม่มีความแน่นอน เกษตรกรร้อยละ 13.7 มีปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์การผลิตน้ำตาลมะพร้าวเนื่องจากหาซื้อยากราคาแพง และปัญหาเกี่ยวกับการขนส่ง นอกจากนี้ยังได้เสนอแนวทางการแก้ไขโดยให้มีการประกันราคาเพื่อ เป็นหลักประกันความมั่นคงในการประกอบอาชีพ

ภุขงค์ และคณะ (2545) ได้ทำการออกแบบโรงงานต้นแบบผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าว เพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับอัตราการผลิตเอสเทอร์ ที่ป้อนน้ำมันมะพร้าวขนาด 500 ลิตรต่อ วัน ออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต คำนวณหาความหนาของถังปฏิกรณ์, ถังเก็บผลิตภัณฑ์ หาขนาด ของใบกวนที่เหมาะสมสำหรับถังกวนทำปฏิกิริยา หากำลังของปั๊มสำหรับการใช้งาน และทำการ ออกแบบระบบควบคุมกระบวนการผลิต โดยที่ใช้มี 2 แบบคือ ระบบ PLC Controller และระบบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PID Controller หลังจากนั้นได้กำหนดพื้นที่ของโรงงานต้นแบบที่ใช้ทั้งหมด และประเมินค่าใช้จ่าย เครื่องจักร อุปกรณ์ และระบบควบคุมที่ใช้ในระบบการผลิต

Bartholomai A. (1987) ได้อธิบายเทคนิคที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารประเภทต่าง ๆ หนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมที่นำเสนออีกคือ โรงงานผลิตนมผง ซึ่งขั้นแรกได้จัดการประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง อธิบายรายละเอียดขั้นตอนกระบวนการผลิต หาพื้นที่ในการจัดสร้างโรงงานตามพื้นที่อุปกรณ์ เครื่องจักรที่ติดตั้ง รวมทั้งพื้นที่ที่ใช้ในการดำเนินการทั้งหมดที่ได้จากการประมาณจำนวนพนักงานที่จำเป็น และปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งต่อการสร้างโรงงานอุตสาหกรรมก็คือ การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายสำหรับเครื่องจักร อุปกรณ์ต่าง ๆ ค่าใช้จ่ายในส่วนของสาธารณูปโภคอื่น ๆ และค่าใช้จ่ายทั้งหมดสำหรับการจัดสร้างโรงงาน เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการลงทุน

Gassner M. & Marechal F. (2009) ได้ทำการออกแบบและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ (Synthetic Natural Gas) จากมวลชีวภาพพริกโนเซลลูโลส เริ่มแรกทำการอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับการผลิต โดยได้ใช้รูปแบบ Block Diagram ซึ่งเป็นรูปแบบทั่วไปมาอธิบายขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ ทำการพิจารณาทางเลือกด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการกระบวนการผลิต เมื่อได้วิธีการและรูปแบบกระบวนการผลิตแล้วทำการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต เพื่อดูในรายละเอียดของการถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิที่ใช้ โดยแบบจำลองที่ได้จะต้องมีประสิทธิภาพพอที่จะนำไปใช้ประเมินค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์

Towler G. & Sinnott R. (2008) ได้อธิบายโครงสร้างของโครงการวิศวกรรมการออกแบบกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมเคมี เริ่มตั้งแต่วิธีการประเมินโครงการเบื้องต้น การจัดทำแผนภาพการไหล (Process Flow - Sheeting) และอธิบายรายละเอียดของกระบวนการผลิตทั้งหมด (Process Description) การสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงาน เพื่อดูความสัมพันธ์ของแต่ละหน่วยงานย่อย ซึ่งเป็นตัวกำหนดปริมาณของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นในการผลิต และเป็นตัวกำหนดขนาดของอุปกรณ์ และเครื่องจักรตามคุณสมบัติของผู้จัดจำหน่าย หลักการออกแบบท่อและเครื่องมือวัด เพื่อให้ได้แผนภาพระบบท่อและอุปกรณ์เครื่องมือวัด (P&ID) ทำให้ง่ายต่อการนำเสนอแบบแปลน ใช้ในการจัดวางการไหลของผลิตภัณฑ์ และการจัดทำแผนผังโรงงาน

Vucurovic D.G. และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษากระบวนการและค่าใช้จ่ายในการลงทุนสำหรับการพัฒนาการผลิตเอทานอลจากน้ำผลไม้ดิบ ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีวิธีการหมักผลไม้ที่ใช้กันในเขต Voivodina โดยได้นำข้อมูลขั้นตอนเหล่านี้มาเข้าสู่กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้อุปกรณ์ เครื่องจักรที่เหมาะสมต่ออัตราการผลิตที่ต้องการ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์กระบวนการทางด้านเศรษฐศาสตร์ วิเคราะห์ต้นทุนในการลงทุนจากค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย และศึกษาความไวของ Sugar Beet และ Yeast เนื่องจากวัตถุดิบ 2 ชนิดนี้มีความผันผวนของราคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิเคราะห์กระบวนการผลิต

3.1 การวิเคราะห์สถานการณ์น้ำตาลมะพร้าว

จากรายงานในปี พ.ศ.2552 ปริมาณผลผลิตมะพร้าวทั่วโลกมีประมาณ 59 ล้านตัน โดยประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตมะพร้าวได้เป็นอันดับ 6 ของโลก รองจากอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ อินเดีย ศรีลังกา และบราซิล ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 1.38 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 2.32 ของโลก ประเทศที่เป็นผู้ส่งออกมะพร้าวและผลิตภัณฑ์อันดับต้น ๆ ของโลก จากสถิติการค้าปี พ.ศ.2552 คือ ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย โดยส่งออกมะพร้าวทั้งผล (Coconut) น้ำมันมะพร้าว (Copra Oil) และมะพร้าวตากแห้ง (Coconut Desiccated) มีมูลค่ามากเป็นอันดับ 1 และ 2 ของโลกตามลำดับ ในขณะที่ไทยส่งออกมะพร้าวทั้งผลเป็นอันดับที่ 11 และส่งออกน้ำมันมะพร้าวเป็นอันดับที่ 20 ของโลก (Food and Agriculture Organization of the United Nations 2009)

ตารางที่ 3.1 สถานการณ์การผลิตมะพร้าวและการค้าโลกปี พ.ศ. 2552

ที่มา: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2009)

ลำดับ	ประเทศ	พื้นที่เก็บเกี่ยว (Ha)	Yield (Kg/Ha)	ผลผลิต (tons)	% of world production
1	Indonesia	3,231,710	66,731	21,565,700	36.21
2	Philippines	3,401,500	46,060	15,667,600	26.31
3	India	1,903,000	53,326	10,148,000	17.04
5	Sri Lanka	394,840	53,160	2,099,000	3.52
4	Brazil	284,058	69,470	1,973,370	3.31
6	Thailand	237,882	58,053	1,380,980	2.32
8	Viet Nam	121,500	92,880	1,128,500	1.89
7	Mexico	155,713	64,523	1,004,710	1.69
9	Papua New Guinea	216,000	43,055	930,000	1.56
10	Malaysia	166,400	27,622	459,640	0.77
			Would production	59,557,799	100

ทางสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (สศก.) ระบุว่าในปี พ.ศ.2553 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมะพร้าว 1.44 ล้านไร่ มีผลผลิตรวม 1.24 ล้านตัน มูลค่าผลผลิตรวม 7,111 ล้านบาท จากตารางที่ 3.2 พบว่าพื้นที่ปลูกและผลผลิตมากจะอยู่ในภาคใต้และภาคกลางของประเทศไทยตามลำดับ โดยจังหวัดที่มีผลผลิตมากที่สุด 5 อันดับแรกได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์, ชุมพร, สุราษฎร์ธานี, ชลบุรี และนครศรีธรรมราช คิดเป็น 74% ของปริมาณผลผลิตทั้งประเทศ ดังตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลพื้นที่ปลูกมะพร้าวและผลผลิตในปี พ.ศ.2553 แบ่งตามภูมิภาคของประเทศไทย
ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

ภูมิภาค	เนื้อที่ยืนต้น	เนื้อที่ให้ผล	ผลผลิต	ผลผลิตต่อไร่
	(ไร่)	(ไร่)	(ตัน)	(กก.)
ภาคเหนือ	18,651	18,651	19,635	1,053
ตะวันออกเฉียงเหนือ	25,796	25,776	23,279	903
ภาคกลาง	650,181	644,540	597,844	928
ภาคใต้	755,179	754,472	605,882	803
รวมทั้งประเทศ	1,449,807	1,443,439	1,246,640	864

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลพื้นที่ปลูกมะพร้าวและผลผลิตในปี พ.ศ.2553 ของ 10 จังหวัดแรกที่มีผลผลิตต่อไร่มากที่สุดของประเทศไทย
ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

จังหวัด	เนื้อที่ยืนต้น	เนื้อที่ให้ผล	ผลผลิต	ผลผลิตต่อไร่
	(ไร่)	(ไร่)	(ตัน)	(กก.)
ประจวบคีรีขันธ์	432,261	427,689	369,441	864
ชุมพร	210,382	210,382	215,399	1,024
สุราษฎร์ธานี	209,272	209,272	128,074	612
ชลบุรี	69,615	69,615	117,932	1,694
นครศรีธรรมราช	100,217	100,217	90,960	908
ปัตตานี	83,205	83,106	55,165	664
สมุทรสงคราม	57,963	57,049	42,181	739
นราธิวาส	54,890	54,595	37,235	682
พังงา	20,625	20,625	16,201	786
สงขลา	17,054	16,873	12,447	738

ทางการส่งออกน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโตนดในปี พ.ศ. 2553 มีปริมาณเท่ากับ 1,778,524 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 81,183,488 บาท ตารางที่ 3.4 พบว่า ช่วงปีพ.ศ. 2543 – 2546 มีปริมาณการผลิตน้ำตาลมะพร้าวที่ไม่แน่นอน เนื่องจากสถานการณ์ในช่วงนั้นมะพร้าวผลมีราคาตกต่ำ การผลิตน้ำตาลมะพร้าวมีต้นทุนสูง แต่ไม่มะพร้าวขายได้ในราคาดีเกษตรกรจึงหันมาโค่นต้นมะพร้าวเพื่อขายไม้มะพร้าว (วชิรา, 2550) จึงทำให้เกิดการลดลงของปริมาณการผลิตน้ำตาลแท้ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เกิดการเพิ่มทดแทนของน้ำตาลหลอม อันก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อความปลอดภัยในการบริโภค การลดลงของปริมาณการผลิตน้ำตาลแท้มีสาเหตุสำคัญจากการลดลงของพื้นที่การเพาะปลูกมะพร้าว และการขาดแคลนแรงงานอันเนื่องมาจากนโยบายของการลงทุนด้านอุตสาหกรรมของภาครัฐ ความเสี่ยงจากการประกอบอาชีพ และการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของชาวสวน แต่พบว่าในช่วงปี พ.ศ.2547 – 2554 มูลค่าการส่งออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกษตรกรเริ่มกลับมาผลิตน้ำตาลมะพร้าวอีกครั้ง ทำให้ปริมาณการผลิตน้ำตาลมะพร้าวเพิ่มสูงขึ้นตาม โดยเฉพาะปี พ.ศ.2554 ในช่วง 7 เดือน (มกราคม – กรกฎาคม) มีปริมาณการผลิตน้ำตาลมะพร้าว – น้ำตาลโตนดเท่ากับ 1.12 ล้านกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 53 ล้านบาท คิดต่อกิโลกรัมจะมีมูลค่าเท่ากับ 47.83 บาท เพิ่มขึ้น 4.77, 10.28 % เมื่อเทียบกับปี พ.ศ.2553, 2552 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.4 ปริมาณการผลิตและมูลค่าการส่งออกน้ำตาลมะพร้าว – น้ำตาลโตนด ปี พ.ศ.2543 – 2554

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

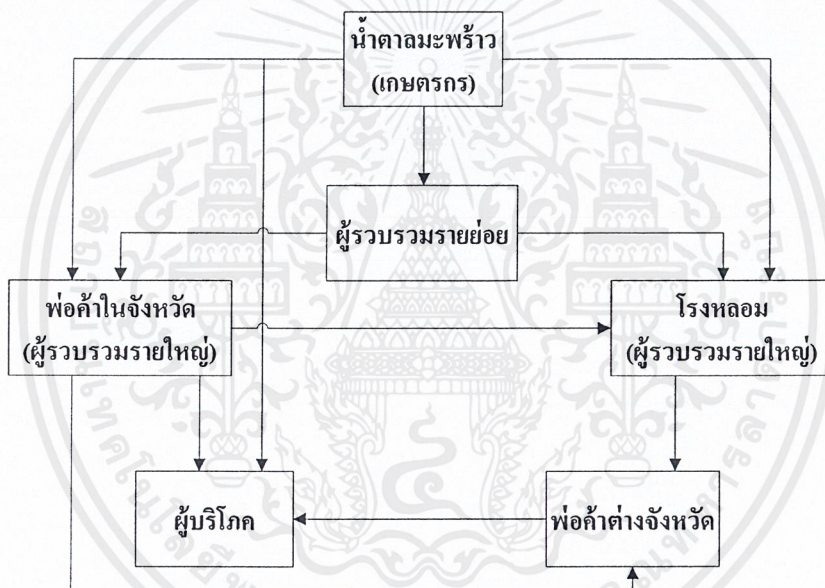
ปีพ.ศ.	น้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโตนด		
	ปริมาณ(กก.)	มูลค่า(บาท)	มูลค่า(บาท/กก.)
2543	764,922	24,778,140	32.39
2544	1,093,599	33,173,441	30.33
2545	1,978,217	44,981,704	22.74
2546	996,788	32,964,589	33.07
2547	1,148,103	36,547,496	31.83
2548	1,189,037	43,605,066	36.67
2549	1,421,990	53,308,930	37.49
2550	1,038,419	39,126,247	37.68
2551	1,322,456	55,676,736	42.10
2552	1,811,061	78,544,179	43.37
2553	1,778,524	81,183,488	45.65
2554 (ม.ค.-ก.ค.)	1,123,189	53,718,985	47.83

สภาวะทางการตลาด โดยน้ำตาลปีของจังหวัดสมุทรสงครามจะถูกส่งไปจำหน่ายยังตลาดกรุงเทพฯ และจังหวัดใกล้เคียง ราคาของน้ำตาลปีจะเคลื่อนไหวไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับความต้องการของตลาด การซื้อขายสินค้าต้องผ่านพ่อค้าคนกลาง ทำให้ผลผลิตราคาตกต่ำไม่สามารถกำหนดราคาได้เอง โดยปกติสภาพของน้ำตาลมะพร้าวมีอายุการเก็บได้ไม่นาน เมื่ออากาศร้อนอบอ้าวหรืออากาศชื้น จะเก็บได้ 7 -15 วัน น้ำตาลมะพร้าวก็น่าจะค่อย ๆ คิ่นตัวเหลวลง และมีสีคล้ำ ซึ่งไม่เป็นที่นิยมของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องตลาด จึงทำให้เกิดธุรกิจโรงหลอมขึ้น โดยโรงหลอมจะทำหน้าที่ทางด้านการตลาด ช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลผลิตน้ำตาลมะพร้าวให้มีคุณสมบัติที่แข็งตัวอยู่ได้นาน ในด้านการรับซื้อจะมีผู้รวบรวมบางส่วนนำน้ำตาลมะพร้าวมาจำหน่ายให้แก่โรงหลอม โรงหลอมก็นำน้ำตาลเหล่านี้มาหลอมกวนใหม่ โดยใส่ส่วนผสมชนิดอื่นเพื่อช่วยให้เป็นน้ำตาลมะพร้าวขึ้นมาอีก น้ำตาลมะพร้าวที่ได้จากการหลอมนี้จะเหนียวและแข็งกว่าน้ำตาลแท้ และมีอายุการเก็บรักษาไว้ได้นานประมาณ 1 – 2 เดือน หลังจากนั้นก็ทำการจำหน่ายให้กับพ่อค้า

ระดับพ่อค้าในจังหวัด เมื่อทำการรับซื้อน้ำตาลมะพร้าวแล้ว บางส่วนจะขายส่งที่หน้าร้านให้กับพ่อค้าเร่จากต่างจังหวัด และบางส่วนจำหน่ายให้โรงหลอม แต่ส่วนใหญ่จะส่งให้ขาประจำในต่างจังหวัด ส่วนที่เหลือผ่านพ่อค้าปลีกในแต่ละท้องถิ่น แล้วจึงถึงผู้บริโภค หรือเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมย่อย เช่น โรงงานทำขนมต่างๆ แล้วจึงถึงมือผู้บริโภคอีกต่อหนึ่ง ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภาพที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วิธีการตลาดของน้ำตาลมะพร้าว

ที่มา: เบญจมาศ (2553)

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าในประเทศไทยมีต้นมะพร้าวที่สามารถให้ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวที่เพียงพอต่อการผลิตในภาคอุตสาหกรรม มีราคาขายน้ำตาลมะพร้าวอยู่ในอัตราที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีความต้องการของผู้บริโภคที่สูงขึ้น และการสร้างโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวผงนั้นจึงเป็นทางเลือกเพิ่มเติมที่จะช่วยให้มีมาตรฐานในการผลิต มีคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่แน่นอน รวมทั้งยังสามารถลดการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากพ่อค้าคนกลางได้

3.2 รายละเอียดผลิตภัณฑ์

จากขั้นตอนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน สามารถจำแนกรายละเอียดผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงดัดดังนี้

วัตถุดิบ (Material)

1. รายละเอียดของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด

- วัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงดคือน้ำตาลมะพร้าวสด น้ำตาลมะพร้าวสดจะมีปริมาณความเข้มข้นในส่วนที่เป็นของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายทั้งหมด (Total Soluble Solid) ประมาณ 15 -18 BRIX ซึ่งหมายความว่าน้ำตาลมะพร้าวสดใน 100 กรัม มีปริมาณน้ำตาลอยู่ 15 - 18 กรัม
- สาร Additives
- ขวดบรรจุภัณฑ์
- กล่องกระดาษบรรจุภัณฑ์

2. ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด

ใช้ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวสดในอัตรา 125 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีกำลังการผลิต 8 ชั่วโมงต่อวัน

ผลิตภัณฑ์ (Product)

รายละเอียดของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้คือน้ำตาลมะพร้าวผงด ที่มีสถานะเป็นของแข็งลักษณะเป็นเม็ดผงด เป็นสารให้ความหวานตามธรรมชาติชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้ในการบริโภคภาคครัวเรือนหรือใช้เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขนมหวาน และเครื่องดื่ม

สาธารณูปโภค (Utilities)

รายละเอียดของ Utilities ที่ใช้ในกระบวนการ

ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด จะมีการใช้ Utilities ที่จำเป็นในกระบวนการประกอบด้วยกระแสไฟฟ้าที่ให้กับหน่วยงานการผลิต และเครื่องอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่จำเป็นในโรงงาน น้ำหล่อเย็นสำหรับเครื่องควบแน่น (Condenser) น้ำที่ใช้ผลิตเป็นไอน้ำสำหรับเครื่องกำเนิดไอน้ำ และอากาศที่ใช้เป็นลมร้อนสำหรับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ผลพลอยได้ (By Product)

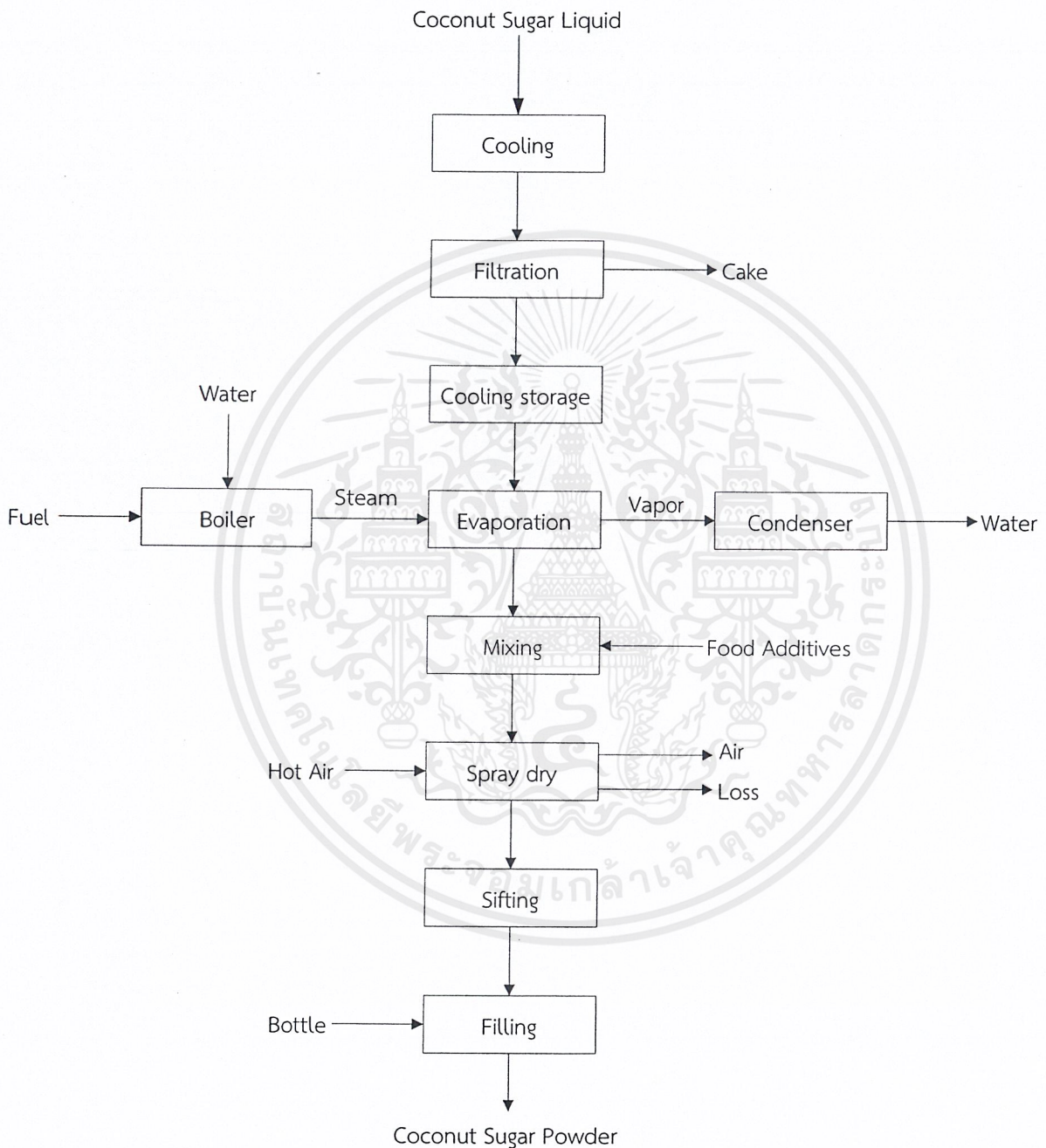
รายละเอียดของผลพลอยได้

กระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง ในส่วนของขั้นตอนการกรองนั้น จะทำการแยกส่วนที่เป็นตะกอน (Cake) หรือสิ่งเจือปนที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ออกจากวัตถุดิบ ซึ่งสุดท้ายแล้วจะแยกออกมาเป็นผลพลอยได้ สามารถนำไปขายเพื่อทำเป็นปุ๋ยต่อไปได้

3.3 การออกแบบกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง

3.3.1 รายละเอียดการผลิต (Process Descriptions)

ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง เริ่มด้วยการรับน้ำตาลมะพร้าวสดที่มีปริมาณความเข้มข้นประมาณ 15 -18 BRIX มาเก็บไว้ในถังทำความเย็น (Cooling Tank) เป็นการชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการกรองเพื่อกำจัดเศษสิ่งแขวนลอยและเศษไม้พะยอมที่หลงเหลือ กำหนดปริมาณน้ำตาลมะพร้าวสดเริ่มต้นที่รับเข้าสู่โรงงานผลิตเป็นจำนวน 1,000 ลิตรต่อวัน จากนั้นน้ำตาลมะพร้าวสดถูกส่งผ่านท่อลำเลียงไปยังเครื่องกรองแบบอัดตะกอน (Filter Press) เพื่อแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำตาลมะพร้าวสด ด้วยอัตราการป้อน 125 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ระยะเวลาการผลิต ใน 1 วันมี 8 ชั่วโมง ท่อลำเลียงที่ใช้ทำจากวัสดุที่ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนหรือเกิดปฏิกิริยากับอาหารเหลว ในขั้นตอนการกรองนี้เกิดผลิตภัณฑ์ออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของน้ำตาลมะพร้าวใส และกากตะกอน (Cake) กากตะกอนที่ได้นี้ สามารถนำไปกำจัดหรือใช้ทำเป็นปุ๋ย ส่วนน้ำตาลมะพร้าวใสที่ได้หลังการกรอง ถูกลำเลียงต่อไปยังถังเก็บที่แช่เย็น ก่อนที่ป้อนเข้าสู่ชุดหม้อต้ม (Multiple Evaporators) ซึ่งทำหน้าที่ระเหยน้ำจากสารละลายน้ำตาลมะพร้าวออก น้ำตาลมะพร้าวได้รับความร้อนในการระเหยจากไอน้ำที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในชุดหม้อต้มระเหย ทำให้น้ำตาลมะพร้าวที่ออกจากชุดหม้อต้มมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นพักเก็บไว้ในถังผสม (Mixing Tank) เพื่อทำการผสมกับสารเจือปนที่มีคุณสมบัติช่วยในการทำแห้ง และสารป้องกันการเกาะติด (Anti Cake) ที่มีคุณสมบัติป้องกันความชื้น ให้ผสมกันจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงทำการป้อนไปยังเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งคือ น้ำตาลมะพร้าวผง ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงที่ได้ถูกลำเลียงต่อมายังเครื่องคัดขนาดผงแห้ง (Sifter) เพื่อแยกขนาดผงของน้ำตาลมะพร้าวให้มีค่าตามต้องการ ก่อนนำไปบรรจุใส่ขวดด้วยเครื่องบรรจุ (Powder Filling Machine) พร้อมทั้งติดฉลาก ติดวันที่ผลิต วันที่หมดอายุให้เรียบร้อย บรรจุลงกล่อง และนำไปเก็บไว้ในห้องเก็บผลิตภัณฑ์เพื่อรอจัดจำหน่ายต่อไป สามารถแสดงเป็นแผนภูมิการผลิต (Process Flow - sheet) ได้ดังรูปที่ 3.2



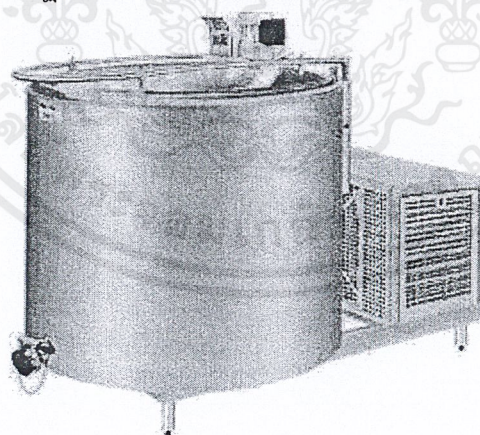
รูปที่ 3.2 แผนภูมิกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต

3.3.2.1 ภาชนะบรรจุ (Storage Vessel)

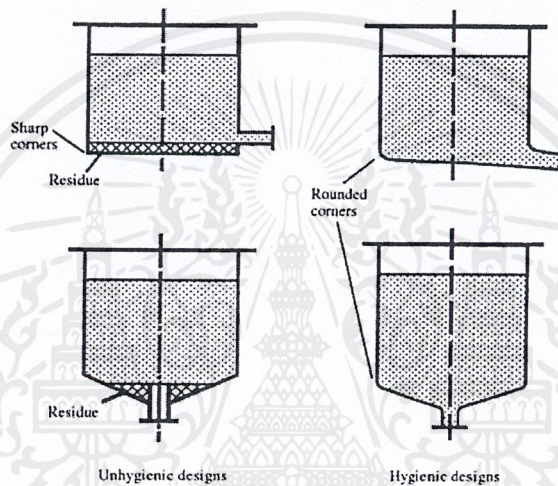
- ถังทำความเย็น (Cooling Tank) ใช้ในการเก็บรักษาคุณภาพของวัตถุดิบ (น้ำตาลมะพร้าวสด) และพักวัตถุดิบเพื่อรอป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อไป ถังทำความเย็นที่ใช้เก็บน้ำตาลมะพร้าวสดดังรูปที่ 3.3 ในส่วนของระบบทำความเย็นที่ใช้ ต้องมีการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว มีระบบควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามที่กำหนดและมีอุณหภูมิทั่วทั้งถังทำความเย็น อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาควรอยู่ประมาณ 4°C เพื่อเป็นการชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ถังทำความเย็นจะประกอบไปด้วยชั้นผนังอยู่ 3 ส่วน คือส่วนแรกเป็นชั้นผนังที่สัมผัสกับน้ำตาลมะพร้าวสด วัสดุที่ใช้ควรเป็นประเภทสแตนเลส (Stainless Steel) เนื่องจากตัวถังสัมผัสกับวัตถุดิบโดยตรง ซึ่งมีผลทั้งทางด้านกายภาพ ด้านชีวภาพ และด้านเคมี จึงต้องใช้วัสดุที่ไม่เพิ่มความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนหรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพของวัตถุดิบ นอกจากนี้สแตนเลสที่ใช้ต้องเป็นเบอร์ 304 ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการใช้งานและมีความทนทานต่อการสึกกร่อน ส่วนที่สองเป็นชั้นที่อยู่ด้านนอกของถังทำหน้าที่เป็นฉนวน เพื่อลดอัตราการถ่ายโอนความร้อน วัสดุที่นิยมใช้ เช่น Polyurethane ซึ่งมีคุณสมบัติทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลัน (Thermo shock) และชั้นที่สามเป็นชั้นด้านนอกของถังส่วนใหญ่ใช้วัสดุเป็นสแตนเลส เบอร์ 304 เนื่องจากทำความสะอาดง่าย ไม่เกิดปฏิกิริยากับสารทำความสะอาดและสารฆ่าเชื้อ



รูปที่ 3.3 ถังทำความเย็น

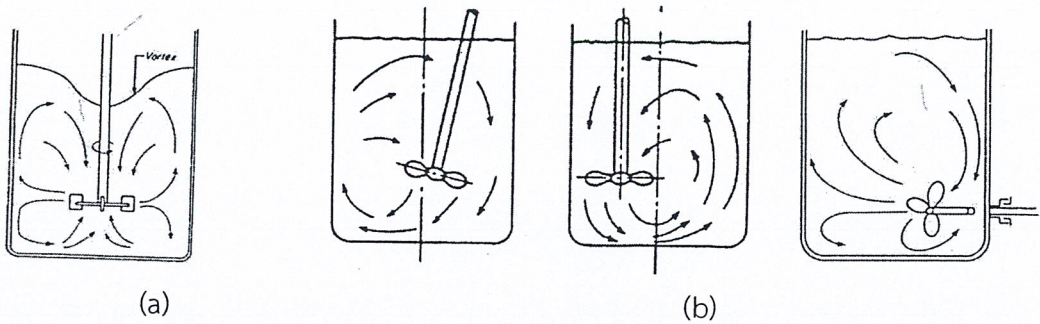
ที่มา: Koromina, N. (2012)

- ถังกวนผสม (Mixing Tank) เป็นถังที่ใช้สำหรับการผสมระหว่างน้ำตาลมะพร้าวสด สารเจือปน และสาร Anti Cake ให้เป็นเนื้อเดียวกัน วัสดุที่ใช้ทำถังเป็นสแตนเลสเบอร์ 304 เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อน ทนอุณหภูมิสูง และไม่เกิดเป็นสนิมนอกจากวัสดุที่ใช้ทำถังกวนสารจะต้องถูกสุขลักษณะแล้ว ยังมีส่วนประกอบอื่นที่ยังต้องคำนึงถึงมีดังนี้
 1. การออกแบบถัง การป้อนของเหลวออกจากถัง ช่องที่สามารถระบายของไหลออกได้ ควรออกแบบอย่างถูกสุขลักษณะ ดังรูปที่ 3.4 เพื่อไม่ให้เกิดการสะสม ตกค้างอยู่ภายในถัง และมุมขอบของถังไม่ควรเป็นมุมแหลม เนื่องจากจะทำให้เกิดการสะสมและเกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้



รูปที่ 3.4 การออกแบบถังอย่างถูกสุขลักษณะ
ที่มา: Lelieveld & et al. (2003)

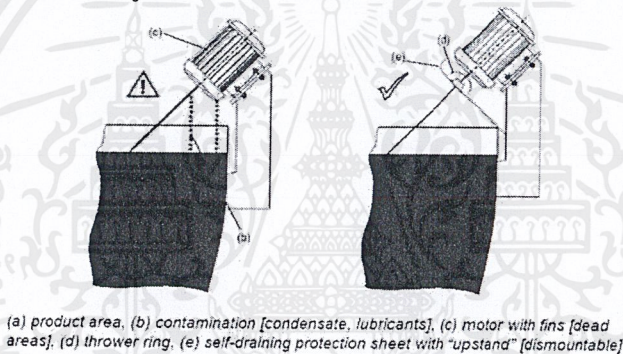
การติดตั้งใบกวน ในกรณีที่เพลลาอยู่ในแนวตั้ง องค์กรประกอบความเร็วในแนวรัศมีและในแนวตามความยาวมีประโยชน์และให้การไหลที่จำเป็นต่อการผสม แต่เมื่อแกนของใบกวนติดตั้งที่กึ่งกลางของถังผสมในแนวตั้ง องค์กรประกอบในแนวสัมผัสจะก่อให้เกิดข้อเสีย เนื่องจากการไหลในแนวสัมผัสตามทางที่เป็นวงกลมรอบเพลลา ก่อให้เกิดน้ำวน (Vortex) ขึ้นที่ผิวของของเหลว ดังรูปที่ 3.5 (a) จึงจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงแบบการไหลในลักษณะการวนรอบ ๆ ถังผสมซึ่งมีผลต่อการผสมน้อยมาก ดังนั้นการทำลายการไหลลักษณะนี้ กระทำได้ง่ายโดยการติดตั้งใบกวนให้ห่างจากจุดศูนย์กลางของถังผสม หรือใบกวนอาจติดตั้งที่ด้านข้างของถังผสม โดยมีเพลลาในแนวนอน ดังรูปที่ 3.5 (b)



รูปที่ 3.5 (a) ติดตั้งใบกวนที่ทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวน (b) ลักษณะติดตั้งใบกวนที่ไม่ทำให้เกิดน้ำวน

ที่มา: McCabe. & et al. (2005)

การติดตั้งมอเตอร์ของใบกวนอย่างถูกสุขลักษณะ การติดตั้งเครื่องมืออุปกรณ์ก็ต้องระวังการปนเปื้อนของจาระบีและน้ำมันหล่อลื่นเข้ามาในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยมีการใช้ Thrower ring และฝาปิดกันเพื่อป้องกันน้ำมันหล่อลื่นไม่ให้ไหลซึมผ่าน ดังรูปที่ 3.6



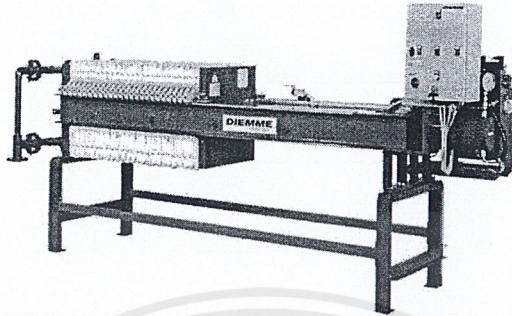
รูปที่ 3.6 การติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพื่อช่วยป้องกันการปนเปื้อนที่อาจมาจากน้ำมันหล่อลื่น
ที่มา: Lelieveld & et al. (2003)

นอกจากการออกแบบถังให้ถูกสุขลักษณะแล้วยังจะต้องออกแบบเชิงกล (Mechanical Design) โดยจะต้องคำนึงถึงความหนาของวัสดุที่ใช้ทำถัง เพื่อรองรับแรงดันของของเหลวที่มากกระทำ เพื่อไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในขณะที่ใช้งานได้

- ถังน้ำ (Water Tank) ใช้สำหรับพักน้ำเพื่อนำไปทำเป็นไอน้ำ วัสดุที่ใช้ทำถังเป็นสแตนเลส เบอร์ 304 เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อน ไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อของเหลว อาจมีฉนวนหุ้มเพื่อป้องกันความร้อน และมีแผ่นอลูมิเนียมปิดทับอีกชั้นเพื่อป้องกันการสะสมของฝุ่นละออง
- ถังน้ำมัน (Fuel Tank) เพื่อเก็บน้ำมันที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำ ใช้วัสดุประเภทสแตนเลส ทรายกุล 400 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมประเภทเฟอร์ริติก (Ferritic stainless steels) มีความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็งแรง และมีความแข็งของเหล็กสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

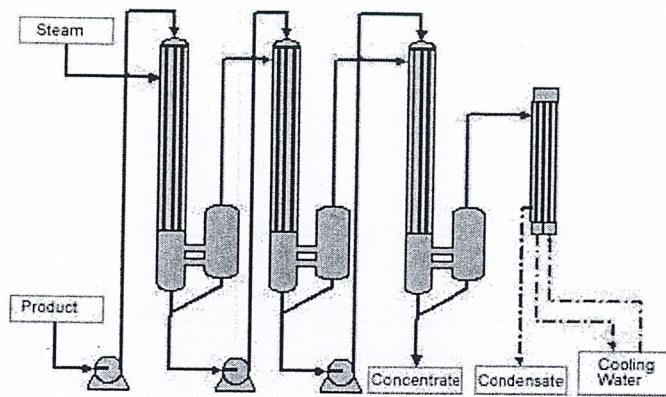
3.3.2.2 เครื่องกรอง (Filter) ใช้ในการกรองเพื่อแยกสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการออกจากน้ำตาลมะพร้าวสด โดยใช้เครื่องกรองแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) ทำการกรองน้ำตาลมะพร้าวในอัตรา 1,000 ลิตรต่อหนึ่งชั่วโมงต่อวัน เครื่องกรองที่เลือกใช้จึงเป็นแบบใช้แรงอัดตะกอน (Filter Press)



รูปที่ 3.7 เครื่องกรองแบบใช้แรงดันอัดตะกอน

ที่มา: Dimme Filtration. (2011)

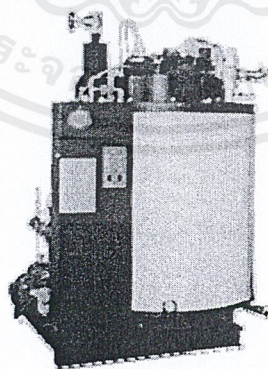
3.3.2.3 ชุดหม้อต้ม (Multiple Evaporators) ใช้ในการระเหยน้ำออกจากน้ำตาลมะพร้าวใส เพื่อทำให้เกิดความเข้มข้นมากขึ้น (% Total solid เพิ่มขึ้น) รูปแบบการระเหยที่ใช้ควรเป็นแบบการปฏิบัติการผลหลายเชิง (Multiple Effect Operation) มากกว่าการปฏิบัติการผลเชิงเดี่ยว (Single Effect Operation) เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำเป็นตัวถ่ายโอนความร้อนให้กับของเหลวได้ดีกว่า ทำให้สามารถลดต้นทุน Utilities ประเภทนี้ได้ ส่วนลักษณะของชุดหม้อต้มก็มีหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมต่อการใช้งานในประเภทนั้น ๆ ดังตารางที่ 2.1 พบว่าประเภทเครื่องระเหยที่เหมาะสมต่อของเหลวประเภทน้ำตาลมะพร้าว ซึ่งเป็นสารละลายที่มีความหนืด จึงเลือกเครื่องระเหยชนิดฟิล์มไหลลง (Falling - Film Evaporator) หลักการทำงาน ป้อนสารละลายเข้าด้านบน และไหลคล้ายฟิล์มลงมาด้านล่างข้างผนังท่อสารละลายที่เข้มข้น ส่วนไอที่เกิดจากของเหลวที่ได้รับความร้อน ถูกพาลงมาด้านล่างพร้อมกับของเหลวและถูกนำออกทางด้านล่างของเครื่องระเหย โดยแยกออกจากผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นสารละลายความเข้มข้นจะถูกปล่อยออก ดังรูปที่ 3.8 นอกจากนี้ยังเหมาะกับการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ดี และมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเครื่องระเหยประเภทอื่น ๆ



รูปที่ 3.8 เครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟคประเภทฟิล์มไหลลง

ที่มา: GEA Process Engineering Inc. (2012)

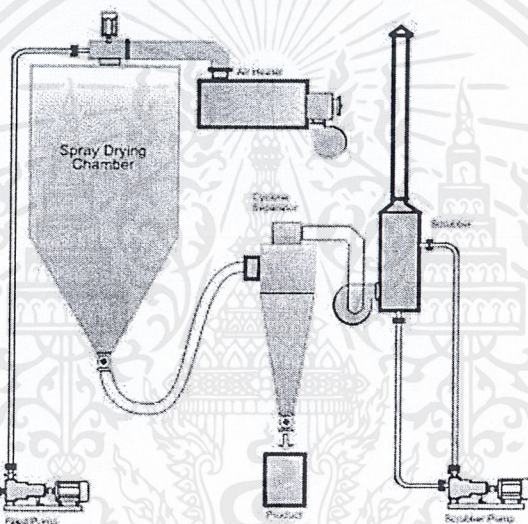
3.3.2.4 หม้อกำเนิดไอน้ำ (Boiler) ใช้ในการสร้างไอน้ำ (Steam) เพื่อนำไปใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำตาลมะพร้าวใสในชุดหม้อต้ม หม้อกำเนิดไอน้ำมีให้เลือกใช้หลากหลายประเภท โดยชนิดหม้อไอน้ำแบ่งออกเป็น แบบท่อน้ำ (Water – Tube Boiler) และแบบท่อไฟ (Fire – Tube Boiler) ในการเลือกใช้หม้อไอน้ำ ในภาคอุตสาหกรรมที่ใช้ปริมาณไอน้ำไม่มาก และเป็นไอน้ำอิมตัวที่ความดันต่ำ จะใช้เป็นแบบท่อไฟ นอกจากนี้ยังมีแบบวันซ์ทรู (Once Through Boiler) ที่กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบันนั้น จัดเป็นหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ มีโครงสร้างเป็นท่อน้ำขนาดเล็กจำนวนมาก โดยเรียงท่อเป็นรูปวงกลม แล้วเว้นพื้นที่ตรงกลางไว้สำหรับเป็นห้องเผาไหม้ ซึ่งมีหัวพ่นไฟอยู่ตรงกลางด้านบนของหม้อไอน้ำ น้ำที่อยู่ในท่อมีปริมาณน้อย จึงสามารถระเหยได้รวดเร็ว ทำให้ประหยัดพลังงาน มักจะสร้างเป็นขนาดเล็ก ๆ 50 - 4,000kg/h โครงสร้างมักจะเป็นแบบตั้ง มีรูปร่างกะทัดรัด พื้นที่ติดตั้งน้อย ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 หม้อกำเนิดไอน้ำ

ที่มา: Thai K. Boiler (2012)

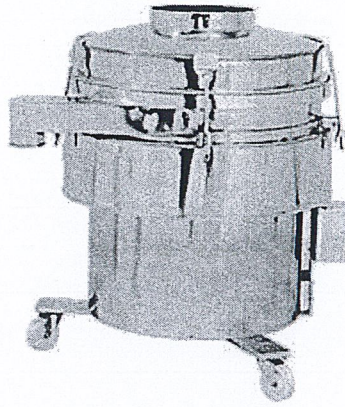
3.3.2.5 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) ใช้ในการทำแห้ง ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดผง การเลือกเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยให้เหมาะต่อกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด ใช้หลักการเลือกรูปแบบการไหลของสารละลาย โดยเลือกใช้หัวฉีดแบบ Two - Fluid Nozzle ซึ่งเหมาะสำหรับการทำแห้งในอัตราการทำแห้งที่ไม่มาก ของเหลวจะกลายเป็นละอองฝอย เนื่องจากถูกอัดด้วยอากาศภายใต้ความดัน วัสดุที่ใช้ควรเป็นสแตนเลส เบอร์ 304 หรือ 316 เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ ส่วนการสัมผัสระหว่างหยดของเหลวและอากาศร้อน (Spray - Air Contact Stage) ที่ใช้เป็นแบบหัวฉีด ฉีดขึ้นบน (Fountain Mode) และสัมผัสกับลมร้อนในลักษณะที่มีการไหลแบบผสม (Mixed Flow) ข้อดีคือมีการสูญเสียความร้อนที่ถ่ายโอนระหว่างลมร้อนกับผลิตภัณฑ์น้อย



รูปที่ 3.10 กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา: Unitop.org (2012)

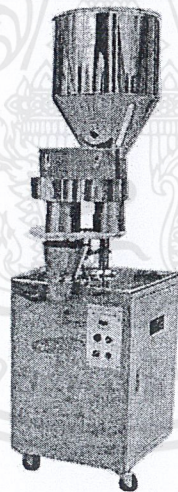
3.3.2.6 เครื่องคัดขนาดผง (Sifter) ดังรูปที่ 3.11 เป็นการคัดขนาดผงที่มีขนาดเล็ก - ขนาดใหญ่ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีขนาดตามที่ต้องการ ควรเลือกขนาดของตะแกรงให้เหมาะสมต่อการใช้งาน ตะแกรงและวัสดุส่วนอื่นที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ควรใช้สแตนเลสเบอร์ 304 เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดสารพิษ มีความแข็งแรง ทนทานต่อการสึกกร่อน และง่ายต่อการทำความสะอาด โดยขนาดของตะแกรงที่มีอยู่โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 4 - 300 mesh



รูปที่ 3.11 เครื่องคัดขนาดผง

ที่มา: Pharmaceutical Machinery. (2012)

3.3.2.7 เครื่องบรรจุ (Powder Filling Machine) เพื่อบรรจุน้ำตาลมะพร้าวผงลงขวดบรรจุภัณฑ์ ดังรูปที่ 3.12 วัสดุที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ควรเป็นสแตนเลส เบอร์ 304 เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อน ไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.12 เครื่องบรรจุผง

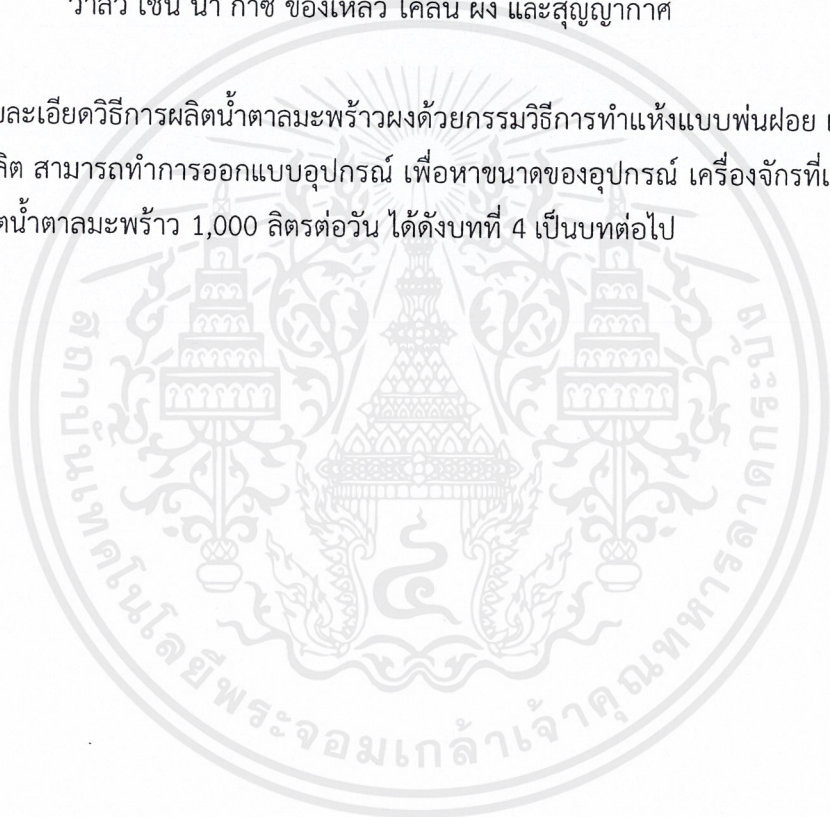
ที่มา: Ipack Machine. (2012)

3.3.2.8 ท่อ ข้อต่อ วาล์ว (Pipe, Joint and Valves) ช่วยในการลำเลียงวัตถุดิบเข้าไปในหน่วยการผลิตต่าง ๆ วัสดุท่อที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนมากที่ใช้ มักเป็นท่อเหล็กกล้าผสมไร้สนิม (Stainless steel pipe) เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีต่อคุณภาพของของไหล ใช้ในสิ่งแวดล้อมที่กัดกร่อน หรือทนต่อของไหลที่กัดกร่อนได้ (Corrosive Environment) ไม่เป็นสนิม ทนต่ออุณหภูมิต่ำ ทนต่อการใช้งานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสูง (High Temperature) ป้องกันการเกิดคราบออกไซด์ (Scale) และยังคงความแข็งแรง มีความแข็งแรงสูง (High Strength) และถูกสุขอนามัย (Hygienic Condition) วาล์วเป็นส่วนที่สำคัญของระบบท่อ มีหลากหลายแบบ มีหน้าที่เปิด - ปิด ทำให้ของไหลไหลหรือหยุดไหลได้ ควบคุมอัตราการไหล (Regulating) ช่วยบังคับการไหลไปในทิศทางเดียวกัน (Checking) หรือให้มีการไหลไปในหลายทิศทาง (Switching) โดยวาล์วที่ทำหน้าที่เปิด ปิดกลับของไหลที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมโรงงานอาหารคือ วาล์วผีเสื้อ (Butterfly Valve) เนื่องจากเป็นวาล์วที่มีขนาดเล็ก ไม่มีการสะสมของไหล (Pocketing) มีหลากหลายขนาดทั้งแบบทนสารเคมี และแบบมีความสะอาดสูง (Hygienic) ของไหลที่เหมาะสมกับวาล์ว เช่น น้ำ ก๊าซ ของเหลว โคลน ผง และสุญญากาศ

จากรายละเอียดวิธีการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต สามารถทำการออกแบบอุปกรณ์ เพื่อหาขนาดของอุปกรณ์ เครื่องจักรที่เหมาะสมต่อกำลังการผลิตน้ำตาลมะพร้าว 1,000 ลิตรต่อวัน ได้ดังบทที่ 4 เป็นบทต่อไป



บทที่ 4

การออกแบบอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

4.1 สมดุลมวล (Mass Balances)

ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของสาร (Substance Flow Analysis) สามารถใช้อธิบายถึงเส้นทางผ่านเข้า - ออกของสาร จากจุดที่สารนั้นผ่านขั้นตอนทั้งหมดของกระบวนการผลิตที่นำไปใช้เป็น ส่วนผสม หรือส่วนประกอบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ สินค้าต่าง ๆ ในการอุปโภค - บริโภค

สิ่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของสาร คือ

- ปริมาณสารเข้าของแต่ละกระบวนการ (หน่วย) ย่อย และระบบรวมทั้งหมด
- ปริมาณสารออกของแต่ละกระบวนการ (หน่วย) ย่อย และระบบรวมทั้งหมด
- ปริมาณสารสะสม (สต็อก) ในแต่ละกระบวนการ (หน่วย) ย่อย และระบบรวมทั้งหมด

หลักในการวิเคราะห์จะใช้หลักการทำสมดุลมวลสาร ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของกฎการอนุรักษ์มวลสาร (Law of Conservation of Mass) ว่ามวลสารไม่สูญหาย หรือถูกทำลายไป ถ้าพิจารณา ระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ที่มีมวลสารไหลผ่านเข้าออก



รูปที่ 4.1 สมดุลมวลสาร

สมการทั่วไปของสมดุลมวลสาร ในแต่ละกระบวนการ (หน่วยย่อย) และระบบรวมคือ

$$\begin{aligned} \text{มวลสารเข้าระบบ} &= \text{มวลสารที่ออกจากกระบบ} + \text{มวลสารที่หายไปในระบบ} \\ &+ \text{มวลสารที่สะสมในระบบ} \end{aligned} \quad (4.1)$$

ในการศึกษาวิเคราะห์เบื้องต้นจะสมมติให้ ระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) หมายถึง สารที่เข้าและออกคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

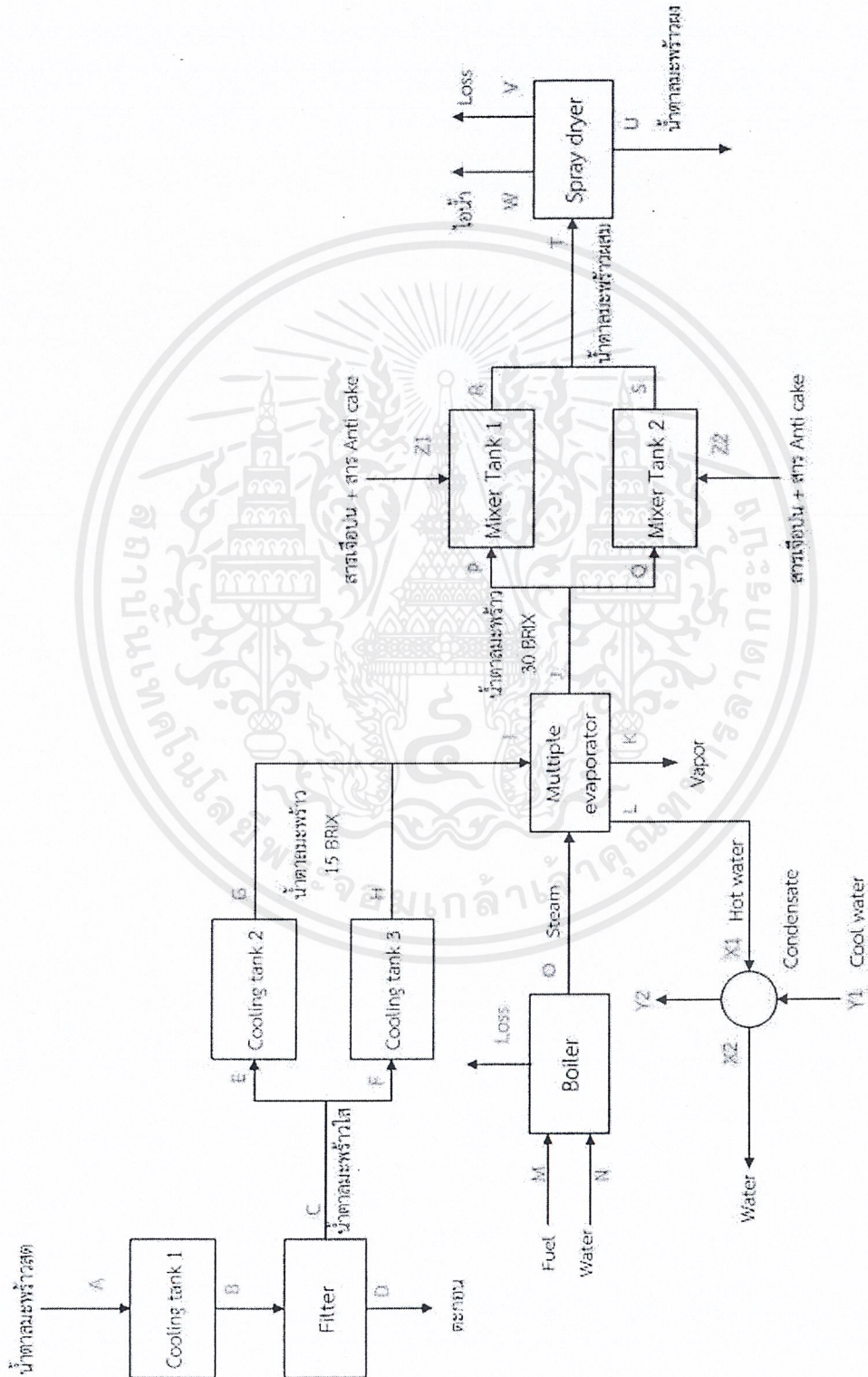
ขั้นตอนเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์การไหลของสาร อาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การวิเคราะห์ระบบ และการเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถแยกเป็นขั้นตอนย่อยๆ ได้ดังนี้ (สุพัต, 2552)

1. เลือกขอบเขตของระบบ (System Boundary) สารหรือวัสดุ (Substance, Material) และระยะเวลาที่สนใจจะศึกษาเก็บข้อมูล
2. ระบุผลิตภัณฑ์สินค้า กระบวนการผลิต ขนส่ง แปรรูป ที่เกี่ยวข้องกับสารที่สนใจ
3. เขียนแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อย และการไหลของสาร
4. เก็บข้อมูล เช่น ปริมาณผลิตภัณฑ์สินค้า (การผลิต ขนส่ง อุปโภคบริโภค) ปริมาณสินค้าทั้งหมดสภาพกลายเป็นขยะเพื่อทิ้ง กำจัดหรือนำกลับมาใช้ใหม่ ปริมาณสารเจือปนที่เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์นั้น ๆ
5. คำนวณปริมาณการไหลของสาร ใช้หลักสมดุลมวลสาร
6. เขียนแผนภูมิเชิงปริมาณสรุปผลการวิเคราะห์ แสดงการไหลของสารทั้งระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยหลักการและวิธีวิเคราะห์การไหลของสารเบื้องต้น จะทำให้ทราบข้อมูลสนับสนุนนโยบายการบริหารจัดการผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง และทำให้เข้าใจถึงสาเหตุของปัญหาในภาพรวมทั้งระบบก่อนการตัดสินใจดำเนินการใด ๆ

ในการทำสมดุลมวลสารของกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง จะเริ่มตั้งแต่รับวัตถุดิบเข้ามาเก็บไว้ที่ถังทำความเย็นจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังรูปที่ 4.2

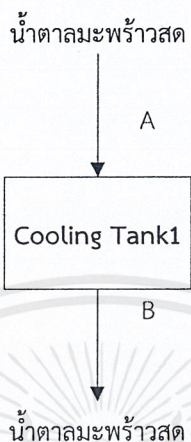


รูปที่ 4.2 สมดุลมวลของกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงที่ได้ต่อวัน และผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละหน่วยงานย่อย โดยใช้ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวสดในอัตรา 1,000 ลิตรต่อวัน ป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตสามารถทำการสมดุลมวลในแต่ละหน่วยงานย่อยได้ดังต่อไปนี้

4.1.1 ถังทำความเย็นที่ 1 (Cooling Tank 1: V-1)



รูปที่ 4.3 การไหลของกระแสวัตถุดิบ (น้ำตาลมะพร้าวสด) ที่ไหลเข้า - ออกถังทำความเย็นที่ 1

จากสมการที่ 1 สามารถสมดุลมวลรวม (Total Mass Balance) ได้เป็นดังต่อไปนี้

ผลรวมของมวลสารเข้าระบบ = ผลรวมของมวลสารออกจากระบบ

$$A = B$$

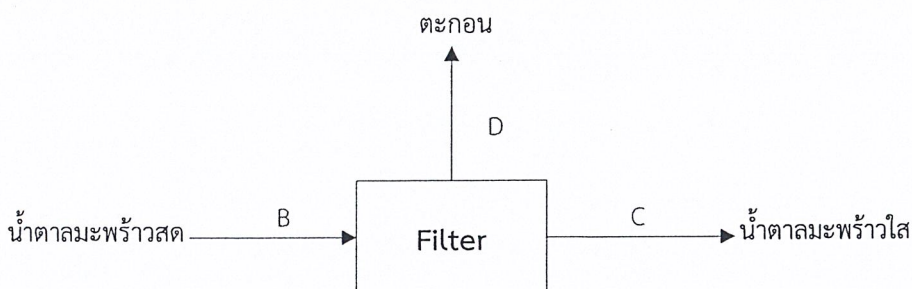
เมื่อ A คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวสด 1,000 กิโลกรัม เข้าถังทำความเย็นที่ 1 (kg)

B คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวสดที่ออกจากถังทำความเย็นที่ 1 (kg)

แทนค่า $B = 1000 \text{ kg}$

∴ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวสดที่ออกจากถังทำความเย็นที่ 1 เท่ากับ 1000 กิโลกรัม

4.1.2 เครื่องกรอง (Filter: G-1)



รูปที่ 4.4 การไหลเข้าของน้ำตาลมะพร้าวสด และน้ำตาลมะพร้าวใสไหลออกจากเครื่องกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมดุลมวลรวม (Total Mass Balance) ของเครื่องกรอง เป็นดังต่อไปนี้

ผลรวมของมวลสารเข้าระบบ = ผลรวมของมวลสารออกจากระบบ

$$B = C + D$$

เมื่อ C คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวใส (kg)

D คือ ปริมาณตะกอนเท่ากับ 3% ของปริมาณน้ำตาลมะพร้าวสด ($D = 0.03 \times B$, kg)

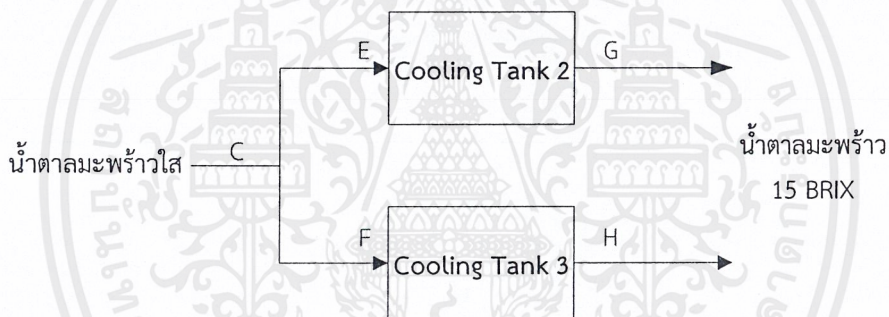
แทนค่า $B = C + 0.03 \times B$

$$1000 = C + 0.03 \times 1000$$

$$C = 970 \text{ kg}$$

∴ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวใสที่ได้จากการกรอง เท่ากับ 970 กิโลกรัม

4.1.3 ถังทำความเย็นที่ 2 และ 3 (Cooling Tank 2 & 3: V-2 & V-3)



รูปที่ 4.5 การไหลของน้ำตาลมะพร้าวใส ที่ไหลเข้าและออกจากถังทำความเย็นที่ 2 และ 3

สมดุลมวลรวม (Total Mass Balance) ของถังทำความเย็นที่ 2 และ 3 เป็นดังต่อไปนี้

ผลรวมของมวลสารเข้าระบบ = ผลรวมของมวลสารออกจากระบบ

$$C = E + F$$

$$E = G$$

$$F = H$$

เมื่อ C คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวใสไหลเข้าถังทำความเย็นที่ 2 และ 3 (kg)

E คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวที่เข้าถังทำความเย็นที่ 2 (kg)

F คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวที่เข้าถังทำความเย็นที่ 3 ($F = E$, kg)

G คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวที่ออกจากถังทำความเย็นที่ 2 (kg)

H คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวที่ออกจากถังทำความเย็นที่ 3 (kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

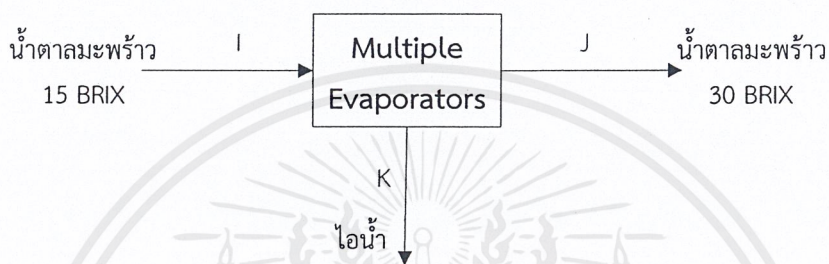
แทนค่า $C = 2.E$

$$970 = 2.E$$

$$E = 485 \text{ kg}$$

∴ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวใส่ที่ไหลเข้าและไหลออกจากถังทำเย็นที่ 2 และ 3 เท่ากับ 485 กิโลกรัม

4.1.4 ชุดหม้อต้ม (Multiple Effect Evaporators: H-1)



รูปที่ 4.6 การไหลเข้าและออกของน้ำตาลมะพร้าวผ่านชุดหม้อต้ม

สมดุลมวลรวม (Total Mass Balance) ของชุดหม้อต้ม เป็นดังต่อไปนี้

ผลรวมของมวลสารเข้าระบบ = ผลรวมของมวลสารออกจากระบบ

$$I = J + K$$

เมื่อ I คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าว 15 BRIX ($I = G + H$, kg)

J คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวเข้มข้น 30 BRIX (kg)

K คือ ปริมาณไอน้ำที่ได้จากชุดหม้อต้ม (kg)

สมดุลมวลของแข็ง (Solid Mass Balance)

ผลรวมของมวลของแข็งไหลเข้า = ผลรวมของมวลของแข็งไหลออก

$$s_i.I = s_j.J$$

เมื่อ s_i คือ 15% Solid ในน้ำตาลมะพร้าว

s_j คือ 45% Solid ในน้ำตาลมะพร้าว

แทนค่า $0.15 \times 970 = 0.30 \times J$

$$J = 485 \text{ kg}$$

∴ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวเข้มข้น 30 BRIX ที่ได้จากชุดหม้อต้ม เท่ากับ 485 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

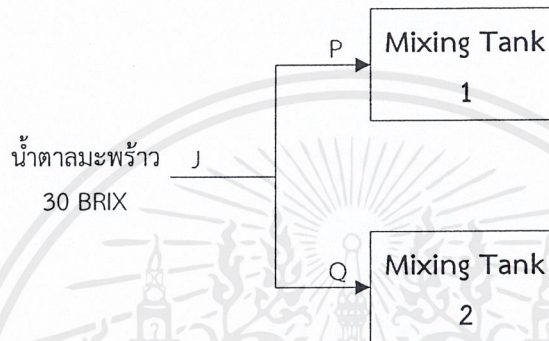
จาก $I = J + K$

แทนค่า $970 = 485 + K$

$$K = 485 \text{ kg}$$

∴ ปริมาณไอน้ำที่ได้จากการชุดหม้อต้มระเหย เท่ากับ 485 กิโลกรัม

4.1.5 ถังกวนสารที่ 1 และ 2 (Mixing Tank 1 & 2: V-4 & V-5)



รูปที่ 4.7 การไหลเข้าของน้ำตาลมะพร้าวผ่านถังกวนสารที่ 1 และ 2

สมดุลมวลรวม (Total Mass Balance) ของขาเข้าถังกวนสารที่ 1 และ 2 เป็นดังต่อไปนี้

ผลรวมของมวลสารเข้าระบบ = ผลรวมของมวลสารออกจากระบบ

$$J = P + Q$$

เมื่อ J คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวเข้มข้น 30 BRIX (kg)

P คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวเข้มข้น 30 BRIX เข้าถังกวนสารที่ 1 (kg)

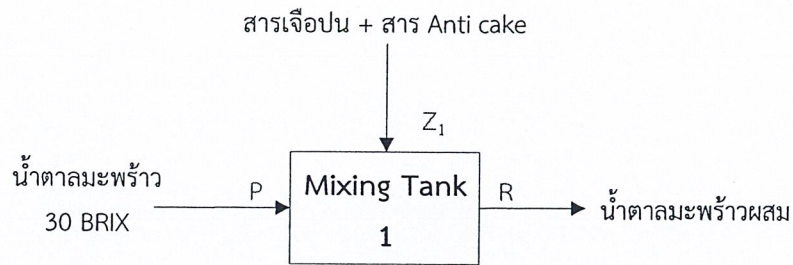
Q คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวเข้มข้น 30 BRIX เข้าถังกวนสารที่ 2 ($Q = P$, kg)

แทนค่า $J = 2 \cdot P$

$$485 = 2 \cdot P$$

$$P = 242.5 \text{ kg}$$

∴ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวเข้มข้น 30 BRIX ที่เข้าถังกวนสาร 1 และ 2 เท่ากับ 242.5 กิโลกรัม



รูปที่ 4.8 การไหลเข้าและออกของน้ำตาลมะพร้าวผ่านถังกวนสารที่ 1

สมดุลมวลของแข็ง (Solid Mass Balance) ของถังกวนสารที่ 1 เป็นดังต่อไปนี้

ผลรวมของมวลของแข็งไหลเข้า = ผลรวมของมวลของแข็งไหลออก

$$sp.P + sz_1.Z_1 = sr.R$$

เมื่อ P คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวเข้มข้น 30 BRIX เข้าถังกวนสารที่ 1 (kg)

R คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวผสม ออกจากถังกวนสารที่ 1 (kg)

Z_1 คือ ปริมาณสารเจือปนกับสาร Anti cake (30% ของปริมาณของแข็งน้ำตาลมะพร้าวเข้มข้น 30 BRIX เข้าถังกวนสารที่ 1, kg)

$sp = 30\%$ Solid ของปริมาณน้ำตาลมะพร้าว

sz_1 คือ 100% Solid ของปริมาณสารเจือปนกับสาร Anti cake

sr คือ % Solid ของปริมาณน้ำตาลมะพร้าวผสมของถังกวนสารที่ 1

แทนค่า $0.3 \times 242.5 + 1 \times (0.3 \times 0.3 \times 242.5) = sr.R$

$$sr.R = 94.575$$

สมดุลมวลรวม (Total Mass Balance)

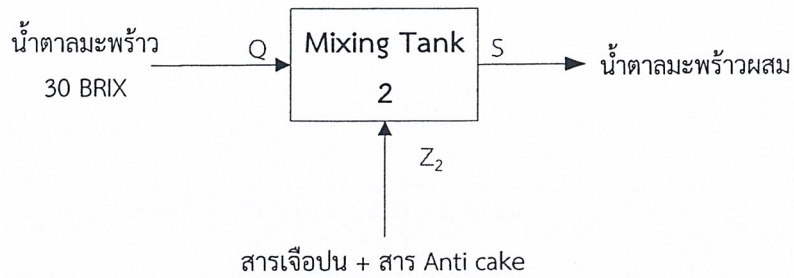
ผลรวมของมวลสารเข้าระบบ = ผลรวมของมวลสารออกจากระบบ

$$P + Z_1 = R$$

แทนค่า $242.5 + 21.825 = R$

$$R = 264.325 \text{ kg}$$

∴ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวผสม ที่ออกจากถังกวนสาร 1 เท่ากับ 264.325 กิโลกรัม



รูปที่ 4.9 การไหลเข้าและออกของน้ำตาลมะพร้าวผ่านถังกวนสารที่ 2

สมดุลมวลของแข็ง (Solid Mass Balance) ของถังกวนสารที่ 2 เป็นดังต่อไปนี้

ผลรวมของมวลของแข็งไหลเข้า = ผลรวมของมวลของแข็งไหลออก

$$s_q \cdot Q + s_{z_2} \cdot Z_2 = s_s \cdot S$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวเข้มข้น 30 BRIX เข้าถังกวนสารที่ 2 (kg)
 S คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวผสม ออกจากถังกวนสารที่ 2 (kg)
 Z_2 คือ ปริมาณสารเจือปนกับสาร Anti cake (30% ของปริมาณของแข็งน้ำตาลมะพร้าวเข้มข้น 30 BRIX เข้าถังกวนสารที่ 1, kg)
 $s_q = 30\%$ Solid ของปริมาณน้ำตาลมะพร้าว
 s_{z_2} คือ 100% Solid ของปริมาณสารเจือปนกับสาร Anti Cake
 s_s คือ % Solid ของปริมาณน้ำตาลมะพร้าวผสมของถังกวนสารที่ 2

แทนค่า

$$0.3 \times 242.5 + 1 \times (0.3 \times 0.3 \times 242.5) = s_s \cdot S$$

$$s_s \cdot S = 94.575$$

สมดุลมวลรวม (Total Mass Balance)

ผลรวมของมวลสารเข้าระบบ = ผลรวมของมวลสารออกจากระบบ

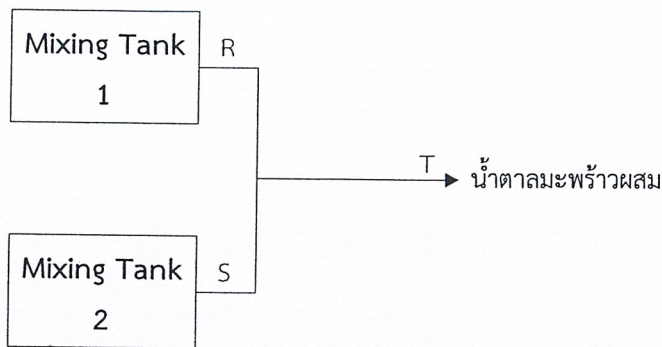
$$Q + Z_2 = S$$

แทนค่า

$$242.5 + 21.825 = S$$

$$S = 264.325 \text{ kg}$$

∴ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวผสม ที่ออกจากถังทำกวนสาร 2 เท่ากับ 264.325 กิโลกรัม



รูปที่ 4.10 การไหลออกของน้ำตาลมะพร้าวผ่านถังกวนสารที่ 1 และ 2

สมดุลมวลรวม (Total Mass Balance) ไหลออกจากของถังกวนสารที่ 1 และ 2 เป็นดังต่อไปนี้

ผลรวมของมวลสารเข้าระบบ = ผลรวมของมวลสารออกจากระบบ

$$R + S = T$$

แทนค่า

$$264.325 + 264.325 = T$$

$$T = 528.65 \text{ kg}$$

∴ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวผสม ที่ออกจากถังทำกวนสารที่ 1 และ 2 เท่ากับ 528.65 กิโลกรัม

สมดุลมวลของแข็ง (Solid Mass Balance) ไหลออกจากของถังกวนสารที่ 1 และ 2 เป็นดังต่อไปนี้

ผลรวมของมวลของแข็งไหลเข้า = ผลรวมของมวลของแข็งไหลออก

$$sr.R + ss.S = st.T$$

เมื่อ T คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าว 30 Brix ที่ผสมสารเจือปนและสาร Anti cake (kg)
st คือ %Solid ของปริมาณน้ำตาลมะพร้าวผสมรวมของถังกวนสารที่ 1 และ 2

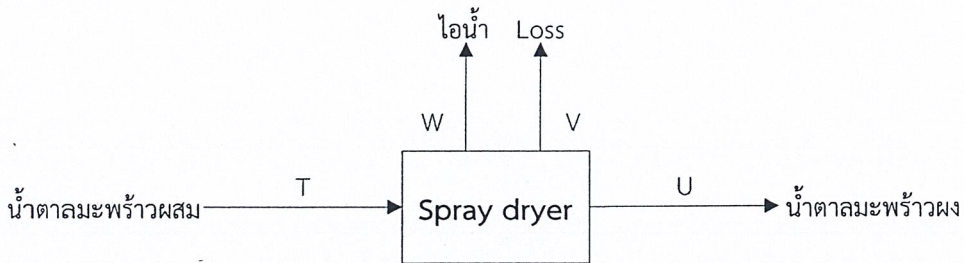
แทนค่า

$$94.575 + 94.575 = st.(528.65)$$

$$st = 0.3578 = 35.78 \% \text{Solid}$$

∴ ปริมาณของแข็งของน้ำตาลมะพร้าวที่ออกจากถังทำกวนสารที่ 1 และ 2 เท่ากับ 35.78 %Solid
ปริมาณสารเจือปนที่ต้องใช้ผสมกับน้ำตาลมะพร้าว เท่ากับ 43.65 กิโลกรัม

4.1.6 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer: G-2)



รูปที่ 4.11 การไหลเข้าและออกของน้ำตาลมะพร้าวผ่านเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

สมดุลมวลของแข็ง (Solid Mass Balance) ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นดังต่อไปนี้

ผลรวมของมวลของแข็งไหลเข้า = ผลรวมของมวลของแข็งไหลออก

$$st.T = su.U + sv.V$$

เมื่อ U คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวผงที่ได้ (kg)

V คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวผงที่สูญเสีย (3% ของน้ำตาลมะพร้าวผงที่ได้, kg)

su คือ 100% Solid ของน้ำตาลมะพร้าว (kg)

sv คือ 100% Solid ของน้ำตาลมะพร้าวที่สูญเสีย (kg)

แทนค่า

$$189.15 = su.U + sv.V$$

$$189.15 = 1 \times U + 1 \times 0.03 \times U$$

$$U = 183.64 \text{ kg}$$

แต่น้ำตาลมะพร้าวผงได้สูญเสียไป 3% จากกระบวนการทำแห้ง

∴ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวผงที่สูญเสีย เท่ากับ $0.03 \times 183.64 = 5.51$ กิโลกรัม

และปริมาณน้ำตาลมะพร้าวผงที่ได้จากการทำแห้งเท่ากับ 183.64 กิโลกรัม

สมดุลมวลรวม (Total Mass Balance)

ผลรวมของมวลสารเข้าระบบ = ผลรวมของมวลสารออกจากระบบ

$$T = U + W + V$$

แทนค่า

$$528.65 = 183.64 + W + 5.51$$

$$W = 339.5 \text{ kg}$$

∴ ปริมาณน้ำที่ได้จากการทำแห้ง เท่ากับ 339.5 กิโลกรัม

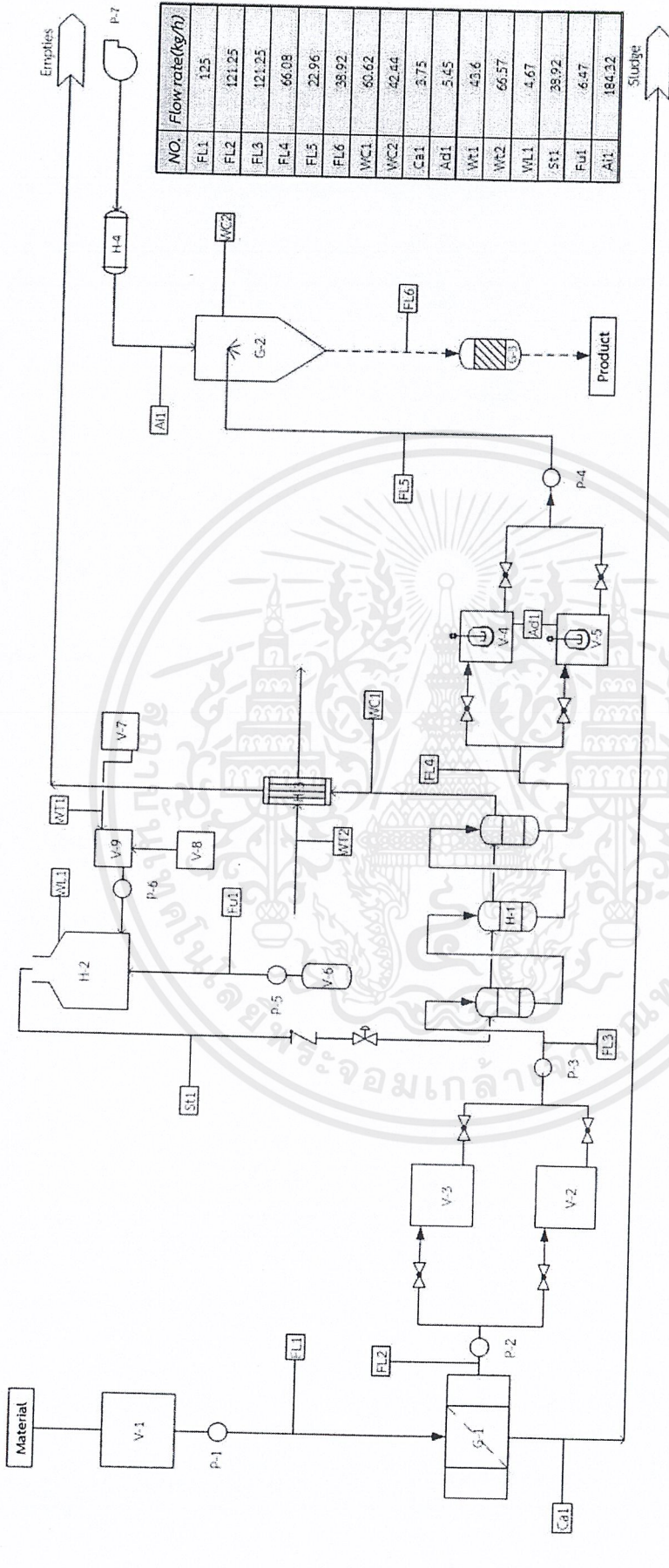
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสมดุลมวลในแต่ละหน่วยงานย่อย สามารถสรุปการสมดุลมวลสารเพื่อทราบอัตราการไหลของสารในแต่ละหน่วยงานได้ดังตารางที่ 4.1 และสรุปรายละเอียดขั้นตอนกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง ซึ่งแสดงทิศทางการไหลของสาร และแสดงรายการเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงได้ดังรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.1 สมดุลมวลของน้ำตาลมะพร้าวในแต่ละหน่วยงาน

ประเภท ผลิตภัณฑ์	Process stream (kg/hr)					
	Cooling Tank 1	Filter	Cooling Tank 2 + 3	Evaporator	Mixing Tank 1 +2	Spray Dryer
Coconut Sugar (liquid)	125.00 [FL1]	121.25 [FL2]	121.25 [FL3]	60.63 [FL4]	60.63 [FL5]	
Coconut Sugar (powder)						22.96 [FL6]
Water Condensate				60.62 [WC1]		42.44 [WC2]
Cake		3.75 [Ca1]				
สารเจือปน + สาร Anti cake					5.45 [Ad1]	
Loss						0.68
Total	125.00	125.00	121.25	121.25	66.08	66.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



V-1 P-1 G-1 P-2 V-2 V-3 V-4 V-5 P-4 G-2 G-3 H-2 H-3 V-6 V-7 V-8 V-9 P-6 P-7 H-4
 cooling tank1 feed pump filter press feed pump cooling tank2 cooling tank3 feed pump evaporators mixer tank1 mixer tank2 feed pump spray dryer sifter boiler condensate fuel tank fuel pump water tank chemical tank soft-water water pump air fan air heater

รูปที่ 4.12 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบอุปกรณ์ (Equipment Design)

การออกแบบเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง ซึ่งการออกแบบเครื่องจักรและอุปกรณ์จะเป็นไปตามหลักการออกแบบกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงตามอัตราการผลิตในแต่ละอุปกรณ์ที่ได้จากการสมดุลมวลสารในแต่ละหน่วยงาน

สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตนั้นมีความสำคัญต่อการผลิต ถ้าไม่มีการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตที่ดีจะส่งผลเสียต่อกระบวนการผลิตได้ดังนี้

- เมื่อเลือกใช้อุปกรณ์ที่สภาพไม่ดี หรือไม่เหมาะสม สามารถก่อให้เกิดความเป็นไปได้ในการเกิดอันตรายทางชีววิทยา เคมี และกายภาพ
- การเลือกท่อ ข้อต่อที่ใช้ ไม่คำนึงถึงความเหมาะสม อาจทำให้เกิดหลุม รอยแตก รอยตะเข็บสามารถก่อให้เกิดพื้นที่ที่สามารถก่อให้เกิดการสะสมและเพาะเชื้อจุลินทรีย์
- อาหารสามารถสะสม ตกค้างตามพื้นหรือจุดที่มีปัญหา สามารถทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารก่อให้เกิดอันตรายในสายการผลิตได้
- วัสดุที่เลือกใช้ในกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสม สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อผลิตภัณฑ์อาหาร (เช่น สารเคมีจากพลาสติก)

การออกแบบเครื่องจักร - อุปกรณ์นั้น สามารถแบ่งการพิจารณาเป็น 2 ส่วนได้ดังนี้

4.2.1 การออกแบบอุปกรณ์ตามทฤษฎีการคำนวณ

- หาปริมาณสารทำความเย็นที่ใช้และกำลังขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ของถังทำความเย็นถึงทำความเย็นที่ 1 (V-1)

ปริมาณความร้อนที่ระบบทำได้ (Q) = กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้งาน (W_{in})

$$Q = \dot{m}_{ref}(h_1 - h_4) \quad (4.2)$$

$$W_{in} = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_1) \quad (4.3)$$

เมื่อ	\dot{m}_{ref}	คือ ปริมาณสารทำความเย็น (kg/s)
	h_1	คือ เอนทัลปีของสารทำความเย็นกลายเป็นไอ (kJ/kg)
	h_4	คือ เอนทัลปีของสารทำความเย็นผสม (kJ/kg)
	h_2	คือ เอนทัลปีของสารทำความเย็นไอร้อนยวดยิ่ง (kJ/kg)

ปริมาณความร้อนที่ระบบทำได้ (Q) = ปริมาณความร้อนของวัตถุที่คายออก

$$Q = \dot{m}C_p(T_2 - T_1) \quad (4.4)$$

เมื่อ	\dot{m}	คือ ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวสด (kg/s)
	C_p	คือ Specific Heat Capacity (kJ/kg K)
	T_2	คือ อุณหภูมิของน้ำตาลมะพร้าวขาเข้าถังทำความเย็น (K)
	T_1	คือ อุณหภูมิของน้ำตาลมะพร้าวขาออกถังทำความเย็น (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดค่า Specific Heat Capacity ที่ใช้เป็นของน้ำตาล ณ ความเข้มข้น 15 BRIX เท่ากับ 3.74 kJ/kg K (Sugar Engineers, 2012)

เป็นการหาค่าล้างขั้วของคอมเพรสเซอร์ (Arora, C.P. 2009) ของถังทำความเย็นที่ใช้เก็บน้ำตาลมะพร้าวสดให้มีอุณหภูมิจาก 25°C เป็น 4°C เพื่อป้องกันการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ โดยสารทำความเย็น (Refrigerant) ที่ใช้เป็น R22 อุณหภูมิคอยล์ร้อน 40°C และคอยล์เย็น -10°C

หาปริมาณความเย็นที่ต้องทำให้กับระบบจากสมการที่ 4.4

$$\text{แทนค่า} \quad Q = 0.278 \times 3.74 \times (298 - 277)$$

$$Q = 21.83 \text{ kW}$$

∴ ปริมาณความเย็นที่ระบบต้องให้กับน้ำตาลมะพร้าวสด เท่ากับ 21.83 kW

หาปริมาณสารทำความเย็นที่ใช้ในการทำความเย็นได้ดังสมการที่ 4.2

$$Q = \dot{m}_{\text{ref}}(h_1 - h_4)$$

$$\text{แทนค่า} \quad 21.83 = \dot{m}_{\text{ref}}(401.60 - 249.08)$$

$$\dot{m}_{\text{ref}} = 0.143 \text{ kg/s}$$

กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้งานหาได้จากสมการที่ 4.3

$$W_{\text{in}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_2 - h_1)$$

$$\text{แทนค่า} \quad W_{\text{in}} = 0.143 \times (436.1 - 401.60)$$

$$W_{\text{in}} = 4.93 \text{ kW}$$

∴ กำลังที่คอมเพรสเซอร์ใช้งานสำหรับทำความเย็นให้กับน้ำตาลมะพร้าวสด ขนาด 1000 ลิตร เท่ากับ 4.93 kW

ถังทำความเย็นที่ 2 และ 3 (V-2, V-3)

เมื่อปริมาตรของถังที่ใช้เก็บน้ำตาลมะพร้าวของถังทำความเย็นที่ 2 และ 3 เท่ากับ 500 ลิตร ดังนั้นสามารถหาปริมาณความเย็นที่ต้องทำให้กับระบบจากสมการที่ 4.4

$$\text{แทนค่า} \quad Q = 0.139 \times 3.74 \times (298 - 277)$$

$$Q = 10.92 \text{ kW}$$

∴ ปริมาณความเย็นที่ระบบต้องให้กับน้ำตาลมะพร้าวสด เท่ากับ 10.92 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาปริมาณสารทำความเย็นที่ใช้ในการทำความเย็นได้ดังสมการที่ 4.2

$$Q = \dot{m}_{\text{ref}}(h_1 - h_4)$$

แทนค่า $10.92 = \dot{m}_{\text{ref}}(401.60 - 249.08)$

$$\dot{m}_{\text{ref}} = 0.071 \text{ kg/s}$$

กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้งานได้จากสมการที่ 4.3

$$W_{\text{in}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_2 - h_1)$$

แทนค่า $W_{\text{in}} = 0.071 \times (436.1 - 401.60)$

$$W_{\text{in}} = 2.45 \text{ kW}$$

∴ กำลังที่คอมเพรสเซอร์ใช้งานสำหรับทำความเย็นให้กับน้ำตลมะพร้าวสด ขนาด 500 ลิตร ทั้ง 2 ใบเท่ากับ 2.45 kW

- หาขนาดท่อ

การหาขนาดท่อที่เหมาะสมต่อการใช้งาน สามารถใช้วิธีการของกราฟ Nomograph สำหรับใช้ในการประมาณขนาดของท่อ หรือใช้สูตรสำหรับประมาณขนาดท่อเหล็กกล้าในการออกแบบ (จาตุรงค์, 2531) เมื่อวัสดุที่ใช้ทำท่อเป็นสแตนเลส ดังสมการที่ 4.5 - 4.6

การไหลแปรปรวน ($N_{\text{Re}} > 2100$)

$$D_{i,\text{opt}} = 3.9q_f^{0.45} \rho^{0.13} \quad (4.5)$$

การไหลราบเรียบ ($N_{\text{Re}} < 2100$)

$$D_{i,\text{opt}} = 3.0q_f^{0.36} \rho^{0.18} \quad (4.6)$$

เมื่อ $D_{i,\text{opt}}$ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่เหมาะสมของท่อ (in)

q_f คือ อัตราการไหลของของไหล (ft^3/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (lb/ft^3)

ตรวจสอบลักษณะการไหลได้จากสูตร

$$N_{\text{Re}} = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{380\rho q_{fm}}{D_i\mu_c} \quad (4.7)$$

เมื่อ N_{Re} คือ Reynolds number

q_{fm} คือ อัตราการไหลของของไหล (ft^3/min)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (lb/ft^3)

D_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (in)

μ_c คือ ความหนืดของของไหล (Centipoises)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการป้อนวัตถุดิบ (น้ำตาลมะพร้าวสด) เข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าว
ผงต่อวัน เท่ากับ 1,000 ลิตร โดยใช้เวลาในการผลิตต่อวันเท่ากับ 8 ชั่วโมง
จากสมการที่ 4.5 -4.6 สามารถหาค่า q_f และ ρ ได้จากสูตร

$$Q = \frac{m}{\rho}$$

เมื่อ m คือ อัตราการไหลของน้ำตาลมะพร้าวสด เท่ากับ 125 kg/h
 ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำตาลมะพร้าว 15 BRIX เท่ากับ 1,030.70 kg/m³
แทนค่า

$$Q = \frac{125}{1030.7} = 0.1213 \text{ m}^3/\text{h}$$

คุณสมบัติน้ำตาลมะพร้าว $\rho = 1030.7 \text{ kg/m}^3$

จากค่าความหนืดของน้ำตาลมะพร้าว (ขวัญใจ และคณะ, 2549) น้ำตาลสด
17.8 °BRIX มีความหนืด 20.3 Centipoises และที่ค่าความหวาน 38 °BRIX มีความ
หนืดเท่ากับ 43.7 Centipoises

ค่าความหวานที่ 15 BRIX มีความหนืดเท่ากับ

$$\frac{15-17.8}{38-17.8} = \frac{\mu_{15 \text{ BRIX}}-20.3}{43.7-20.3}$$

$$\mu_{15 \text{ BRIX}} = 17.06 \text{ cP} = 0.01706 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$$

ดังนั้น

$$q_f = 0.0011 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\rho = 64.34 \text{ lb/ft}^3$$

แทนค่าลงในสมการที่ 4.5 -4.6

การไหลแปรปรวน ($N_{Re} > 2100$)

$$D_{i,opt} = 3.9(0.071)^{0.45}(64.34)^{0.13}$$

$$D_{i,opt} = 0.3125 \text{ in}$$

การไหลราบเรียบ ($N_{Re} < 2100$)

$$D_{i,opt} = 3.0(0.0011)^{0.36}(64.34)^{0.18}$$

$$D_{i,opt} = 0.5464 \text{ in}$$

เลือก D_i (Optimum) = 0.5464 in ตรวจสอบลักษณะการไหลได้จากสมการที่ 4.7

แทนค่า

$$N_{Re} = \frac{380 \times 64.34 \times 0.0714}{0.5464 \times 17.06}$$

$$N_{Re} = 187.27$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงเลือกใช้ขนาดท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน เท่ากับ 0.5464 in (1.39 cm.) แต่ขนาดท่อที่มีขายตามทั่วไปตามตารางที่ ก.2 พบว่ามีขนาดท่อที่ใกล้เคียงที่สุด เท่ากับ 1 in (2.54 cm.) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อเท่ากับ 0.599 in จึงเลือกใช้ขนาดท่อนี้ในการออกแบบ

- กำลังของปั๊ม

ปั๊มที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารจะต้องเป็นปั๊มแบบสุขอนามัย (Hygienic Pump or Sanitary Pump) คือปั๊มที่ถูกออกแบบมาอย่างถูกสุขลักษณะ (Hygienic Design) เพื่อใช้สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนที่เป็นพื้นผิวสัมผัสกับอาหาร (Food Contact Surface) เช่น ห้องปั๊ม (Casing) ซีล จะต้องปลอดภัย ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค สามารถล้างทำความสะอาด (Cleaning) ด้วยระบบ Cleaning in Place ไม่มีมุมอับที่เป็นแหล่ง สะสมของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะก่อโรค (Pathogen)

เนื่องจากมีปั๊มมากมายหลายชนิดให้เลือกใช้ การเลือกใช้ปั๊มจึงเป็นเรื่องที่ควรจะต้องเริ่มต้นทำอย่างมีพื้นฐานสนับสนุนที่ถูกต้อง ข้อมูลที่ควรพิจารณาได้แก่ การวิเคราะห์ระบบงานเพื่อทราบค่าเฮด รวม (Total Discharge Head) ทราบคุณสมบัติของไหลที่จะสูบว่าหนืดมากน้อย ไสหรือข้น มีอุณหภูมิของแข็งปนอยู่หรือไม่ ร้อนหรือเย็น เป็นกรดหรือเป็นกลาง สิ่งเหล่านี้เป็นส่วนช่วยในการเลือกชนิดของปั๊ม การกำหนดขนาดของปั๊ม และการเลือกวัสดุที่สร้างปั๊ม เนื่องจากในกระบวนการผลิตต้องใช้ปั๊มเป็นตัวเพิ่มแรงดันให้กับของไหล (น้ำตาลมะพร้าวสด) ไหลไปยังหน่วยการผลิตต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมต่อการใช้งาน จึงจำเป็นต้องมีการเลือกขนาดปั๊ม โดยมีขั้นตอนการเลือกปั๊มดังนี้

คำนวณหาเฮด (Head) ของปั๊มที่จะมาใช้ในระบบ เป็นการคำนวณว่าปั๊มที่จะมาใช้ในระบบต้องมีเฮดอย่างน้อยที่สุดเท่าใด (สุชา, 2548) โดยสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$H_s = \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + H_z - H_{fi} \right)_{\text{suction}} \quad (4.8)$$

เมื่อ H_s	คือ เฮดรวมด้านเข้า (m)
$\left(\frac{P}{\rho g} \right)_{\text{suction}}$	คือ เฮดความดันด้านเข้า (m)
$\left(\frac{V^2}{2g} \right)_{\text{suction}}$	คือ เฮดความเร็วด้านเข้า (m)
$(H_z)_{\text{suction}}$	คือ เฮดสแตติกด้านเข้า (m)

H_{fi} คือ เฮดสูญเสียด้านเข้า (m)

$$H_D = \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + H_{zd} + H_{fo} \right)_{\text{discharge}} \quad (4.9)$$

เมื่อ H_D	คือ เฮดรวมด้านออก (m)
$\left(\frac{P}{\rho g} \right)_{\text{discharge}}$	คือ เฮดความดันด้านออก (m)
$\left(\frac{V^2}{2g} \right)_{\text{discharge}}$	คือ เฮดความเร็วด้านออก (m)
$(H_{zd})_{\text{discharge}}$	คือ เฮดสแตติกด้านออก (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H_{fo} คือ เฮดสูญเสียด้านออก (m)

ดังนั้น เฮดของปั๊มที่ต้องการ คือ

$$H = H_D - H_s \quad (4.10)$$

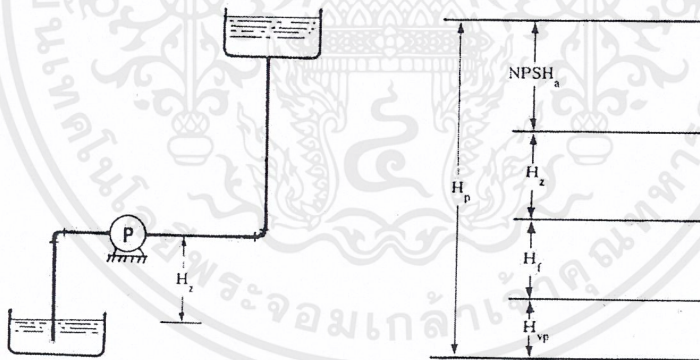
ในการเลือกปั๊ม นอกจากจะพิจารณาว่า ปั๊มนั้นสามารถทำเฮดที่อัตราการไหลตามที่ต้องการได้หรือไม่แล้ว ยังมีองค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งจะเป็นตัวบ่งว่าปั๊มนั้นสามารถใช้กับงานที่ออกแบบไว้ได้หรือไม่ โดยไม่เกิดความเสียหายอย่างรวดเร็วเนื่องจากการสำลักทางด้านดูดของปั๊ม องค์ประกอบนั้นคือ Net Positive Suction Head (NPSH)

Net Positive Suction Head (NPSH) คือ ปริมาณของพลังงานในตัวของเหลวที่แนวศูนย์กลางของปั๊ม แบ่งเป็น 2 อย่าง คือ

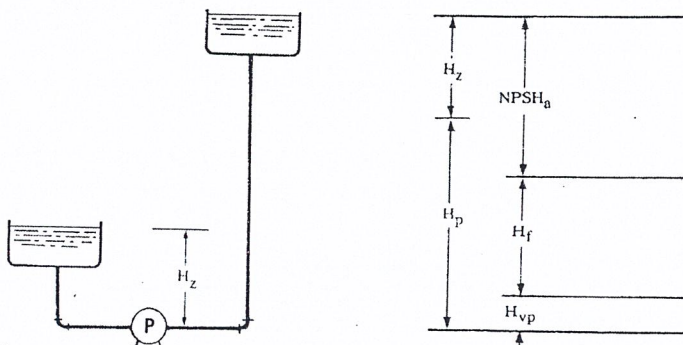
1. NPSH ที่มีอยู่ (Available NPSH, $NPSH_a$) เป็นตัวบ่งบอกว่าการดูดของเครื่องสูบลูกสูบว่ามากเกินกว่าความดันของไอของเหลวอยู่เท่าไร และเป็นคุณลักษณะเฉพาะของการออกแบบระบบ

2. NPSH ที่ต้องการ (Required NPSH, $NPSH_r$) เป็นค่าการดูดของเครื่องสูบลูกสูบที่ต้องการใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดฟองอากาศ และเป็นคุณลักษณะเฉพาะของการออกแบบเครื่องสูบลูกสูบ

จากที่กล่าวมานี้ สามารถสรุปได้ว่า ค่า $NPSH_a$ ที่มีอยู่ในระบบจะต้องสูงกว่าค่า $NPSH_r$ ที่ต้องการของปั๊มที่จะนำมาใช้เสมอ



รูปที่ 4.13 $NPSH_a$ เมื่อปั๊มอยู่สูงกว่าระดับของของเหลวทางด้านดูด



รูปที่ 4.14 $NPSH_a$ เมื่อปั๊มอยู่ต่ำกว่าระดับของของเหลวทางด้านดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อปั๊มอยู่สูงกว่าระดับของเหลวทางด้านดูด

$$NPSH_a = H_p - H_{vp} - H_f - H_z \quad (4.11)$$

เมื่อปั๊มอยู่ต่ำกว่าระดับของเหลวทางด้านดูด

$$NPSH_a = H_p + H_z - H_{vp} - H_f \quad (4.12)$$

- เมื่อ H_p คือ ความดันสมบูรณ์บนผิวของของเหลวทางด้านดูด (m)
 H_{vp} คือ ความดันไอของของเหลว ณ อุณหภูมิที่กำหนด (m)
 H_f คือ ผลรวมของเฮดที่เสียไป (Head Loss) ในท่อดูดทั้งหมด (m)
 H_z คือ ความสูงต่างระหว่างระดับผิวของของเหลวกับศูนย์กลางของปั๊ม หรือ ระยะดูดยก (Static Suction Lift) (m)

โดย $H_f =$ การสูญเสียหลักในท่อ + การสูญเสียรองในอุปกรณ์วาล์ว

$$\text{การสูญเสียหลักในท่อ} = 4 \times f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (4.13)$$

- เมื่อ f คือ แรงเสียดทานในท่อ
 L คือ ความยาวท่อในระบบทั้งหมด (m)
 D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)
 v คือ ความเร็วของของไหล (m/s)
 g คือ แรงโน้มถ่วงจำเพาะ 9.81 (m/s²)

$$\text{การสูญเสียรองในข้อต่อ} = \sum K \times \frac{v^2}{2g} \quad (4.14)$$

เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสีย

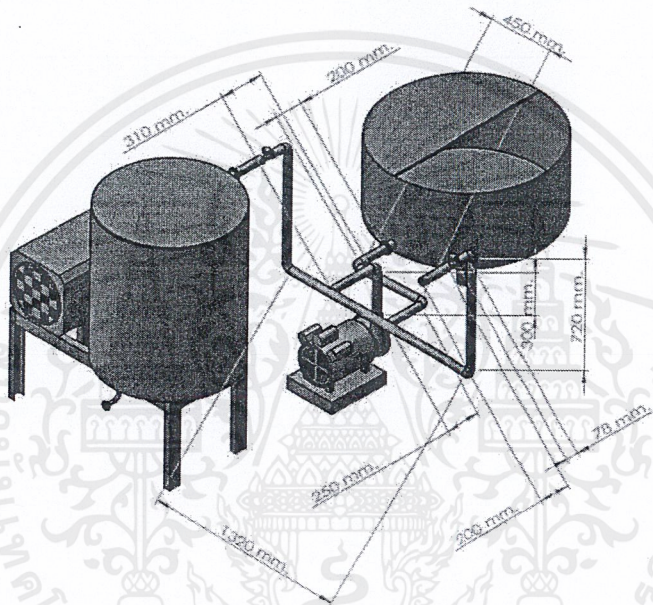
ปั๊มที่ใช้เพิ่มแรงดันให้กับของไหลในกระบวนการผลิตที่อัตราการป้อน 1,000 ลิตรต่อวันนั้นสามารถจำแนกประเภทปั๊มและขนาดปั๊มที่เหมาะสมต่อการใช้งานในแต่ละหน่วยงานได้ดังนี้

ปั๊มจุดที่ 1: P-1

เป็นการปั๊มของเหลวที่ยังมีตะกอนจากถังทำความเย็น ไปยังเครื่องกรองแบบใช้แรงอัดตะกอน จากตารางที่ ก.7 คุณสมบัติของปั๊มแต่ละชนิด สามารถนำมาพิจารณาเพื่อเลือกลักษณะของปั๊มที่เหมาะสมต่อการใช้งาน โดยประเภทปั๊มที่เหมาะสมต่อการสูบของเหลวที่ยังมีตะกอนเจือปน ได้แก่ ปั๊มหอยโข่ง (Centrifuge Pump), ปั๊มใบจักร (Propeller Pump), ปั๊มโมโยโน (Moyno Pump), ปั๊มไดอะแฟรม (Diaphragm Pump) และปั๊มเพอริสเทติก (Peristaltic Pump) ขนาดของปั๊มที่เลือกใช้ขึ้นอยู่กับแรงดันที่ต้องการของเครื่องกรองแบบใช้แรงอัด

ปั๊มจุดที่ 2: P-2

เป็นการปั๊มของเหลวจากถังพักน้ำตาลมะพร้าวใส่ที่ผ่านการกรองเพื่อมาเก็บไว้ในถังทำความเย็น จากการพิจารณาตามตารางที่ ก.7 ได้เลือกปั๊มหอยโข่ง (Centrifuge Pump) เนื่องจากมีความเร็วในการไหลภายในท่อคงที่และเหมาะสมสำหรับของเหลวใส ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (Diameter of Pipe) ที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 1 in (25.4 mm) มีข้องอโค้ง 90 องศาแบบมาตรฐาน 7 ตัว ท่อ 3 ทาง 1 ตัว และ Globe Valve จำนวน 2 ตัว โดยมีการเดินระบบท่อและการติดตั้งปั๊มดังรูป 4.15



รูปที่ 4.15 ปั๊มของเหลวจาก Storage Tank ไปยัง Cooling Tanks

คำนวณหาเฮดเพื่อเลือกปั๊ม

$$\text{เฮดความดันด้านเข้า} = \frac{P}{\rho g} = \frac{101325}{1030.7 \times 9.81} = 10.02 \text{ m}$$

เฮดความเร็วด้านเข้า = 0 m เนื่องจากจุดที่ผิวของของเหลวใน Storage Tank มีขนาดหน้าตัดของถังใหญ่กว่าขนาดท่อมาก ความเร็วของของเหลวที่ผิวจึงมีค่าน้อยมาก

เฮดสแตติกด้านเข้า = 0.507 m

โดยหาเลขเรย์โนลด์จากสมการที่ 4.7

$$N_{Re} = \frac{1030.7 \times 1.91 \times 0.0254}{0.01706}$$

$$N_{Re} = 2931.03$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ ก.5 ค่า Equivalent roughness for new pipes ของท่อเหล็กกล้า

$$\varepsilon = 0.046 \times 10^{-3} \text{ m}$$

หาค่า Relative Roughness

แทนค่า

$$\begin{aligned} \frac{\varepsilon}{D} &= \frac{0.046 \times 10^{-3}}{0.0254} \\ &= 0.0018 \end{aligned}$$

จากรูปที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N_{Re} และ $\frac{\varepsilon}{D}$ จะได้ค่า $f = 0.044$

$$\text{สมการที่ 4.13 การสูญเสียหลักในท่อ} = 4 \times f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{เมื่อ } L = 0.2 + 0.45 + 0.25 = 0.90 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า การสูญเสียหลักในท่อ} &= 4 \times 0.044 \times \frac{0.90}{0.0254} \times \frac{1.91^2}{2 \times 9.81} \\ &= 1.16 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\sum K = 2K_{\text{ข้อต่อ } 90}$$

จากตารางที่ ก.3 $K_{\text{ข้อต่อ } 90} = 1.4$

$$\sum K = 2(1.4) = 2.8$$

$$\begin{aligned} \text{สมการที่ 4.14 การสูญเสียรองในข้อต่อ} &= 2.8 \times \frac{1.91^2}{2 \times 9.81} \\ &= 0.52 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{เฮดสูญเสียด้านเข้า} = 1.16 + 0.52 = 1.68 \text{ m}$$

เฮดความดันด้านออก = เฮดความดันด้านเข้า

$$\text{ความเร็วในการไหล } v = \frac{Q}{A}$$

$$\text{เมื่อ } Q = \frac{1000}{1030.70} = 0.97 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0.97 \times 10^{-3}}{\frac{\pi (0.0254)^2}{4}} = 1.91 \text{ m/s}$$

$$\text{เฮดความเร็วด้านออก} = \frac{v^2}{2g} = \frac{1.91^2}{2 \times 9.81} = 0.186 \text{ m}$$

$$\text{เฮดสแตติกด้านออก} = 0.9 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{สมการที่ 4.13 การสูญเสียหลักในท่อ} = 4 \times f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{เมื่อ } f = 0.044$$

$$L = 0.3 + 0.31 + 1.32 + 0.72 + 0.078 + 0.2 = 2.928 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า การสูญเสียหลักในท่อ} &= 4 \times 0.044 \times \frac{2.928}{0.0254} \times \frac{1.91^2}{2 \times 9.81} \\ &= 3.77 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\sum K = 5K_{\text{ข้อต่อ } 90} + K_{\text{สามทาง}} + 2K_{\text{Globe Valve}}$$

$$\text{จากตารางที่ ก.3 และ ก.4 } K_{\text{ข้อต่อ } 90} = 1.4$$

$$K_{\text{สามทาง}} = 0.9$$

$$K_{\text{Globe Valve}} = 10$$

$$\sum K = 5(1.4) + (0.9) + 2(10) = 27.9$$

$$\begin{aligned} \text{สมการที่ 4.14 การสูญเสียรองในข้อต่อ} &= 27.9 \times \frac{1.91^2}{2 \times 9.81} \\ &= 5.19 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{เฮดสูญเสียด้านออก} = 3.77 + 5.19 = 8.96 \text{ m}$$

จากสูตรที่ 4.8 และ 4.9 สามารถหาค่าเฮดด้านเข้า เฮดด้านออกได้ดังนี้

$$\begin{aligned} H_s &= (10.02 + 0 + 0.507 - 1.68)_{\text{suction}} \\ &= 8.847 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_D &= (10.02 + 0.186 + 0.9 + 8.96)_{\text{discharge}} \\ &= 20.066 \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้น เฮดของปั๊มที่ต้องการ คือ

$$\begin{aligned} H &= 20.066 - 8.847 \\ &= 11.219 \text{ m} \end{aligned}$$

คำนวณหา Available NPSH จากการติดตั้งปั๊มพบว่า ปั๊มอยู่ต่ำกว่าระดับของของเหลวทางด้านดูด ดังนั้นจึงใช้สมการที่ 4.12 ในการคำนวณ

กำหนดค่าความดันไอของน้ำตาลมะพร้าวมีค่าเท่ากับค่าความดันไอของสารละลายน้ำตาลที่อุณหภูมิ $40^\circ\text{C} = 1.04 \text{ psi}$ (Lew G., 2012)

ความถ่วงจำเพาะของน้ำตาลมะพร้าว = 1.06 (Philippine Coconut Authority,

1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ดังนั้น เฮดจากความดันไอของน้ำตาล} = \frac{1.04 \times 0.705}{1.06} = 0.69 \text{ m}$$

$$\text{NPSH}_a = 10.02 + 0.507 - 0.69 - 1.68$$

$$= 8.157 \text{ m}$$

∴ นั่นคือ ปั๊มที่จะมาติดตั้งในระบบนี้จะต้องมีค่า NPSH_a ที่ต้องการต่ำกว่า 8.157 เมตร

ปั๊มจุดที่ 3: P-3

ใช้ปั๊มแบบสุญญากาศ (Vacuum Pump) แบบ 2 Stages - Liquid Ring เป็นตัวสร้างสุญญากาศ เพื่อปั๊มของเหลวจากถังทำความเย็นที่ 2 และ 3 ไปยังเครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟค (3 - Effect Evaporators) และปั๊มสำหรับหมุนเวียนผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump)

ปั๊มจุดที่ 4: P-4

ปั๊มของเหลวจากถังกวนสาร เข้าสู่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ใช้ปั๊มส่ง (Feed Pump) เป็นปั๊มเพอริสเทติก (Peristaltic Pump) หรือปั๊มโมโยโน (Moyno Pump) ซึ่งเหมาะกับการใช้งานกับของเหลวที่มีความหนืด

- ความหนาของถัง

การกำหนดความหนาของถังมีส่วนต่อการออกแบบสำหรับการแตกหักเนื่องจากความล้า โดยถังมีขนาดของแรงกระทำที่ส่งมาจากปั๊มและแรงที่กระทำของของเหลว จากต่ำสุดไปยังสูงสุด เกิดเป็นแรงที่กระทำซ้ำหลาย ๆ วัฏจักร (Cycle) จึงอาจทำให้เกิดการแตกหักเนื่องจากความล้า (Fatigue) ได้ ดังนั้นการกำหนดความหนาของถังจึงเป็นการป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เกิดความเสียหาย และเป็นวิธีที่สามารถทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายกับถังที่มีความหนามากเกินความจำเป็น (วิธีธี และชาญ, 2544) สามารถคำนวณหาได้โดยใช้สมการของไซเดอร์เบิร์ก

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{\sigma_y} + \frac{\sigma_a}{\sigma_n} \quad (4.15)$$

เมื่อ	N	คือ ค่าความปลอดภัย
	σ_m	คือ ความเค้นเฉลี่ย (N/mm ²)
	σ_a	คือ ความเค้นส่วนเปลี่ยน (N/mm ²)
	σ_y	คือ ความต้านแรงดึงคราก (N/mm ²)
	σ_n	คือ ค่าความต้านแรงทนทาน (N/mm ²)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{โดย} \quad \sigma_m = \frac{P_m R}{t} \quad (4.16)$$

เมื่อ P_m คือ ความดันเฉลี่ย (MPa)
 R คือ รัศมีของถัง (mm)
 t คือ ความหนาถัง (mm)

$$\sigma_a = \frac{P_a R}{2t} \quad (4.17)$$

เมื่อ P_a คือ ความดันส่วนเปลี่ยนแปลง (MPa)

$$\sigma_n = k_a k_b k_c \sigma_n \quad (4.18)$$

เมื่อ k_a คือ ตัวประกอบของผิว
 k_b คือ ตัวประกอบของขนาด
 k_c คือ ตัวประกอบของแรง
 σ_n คือ ขีดจำกัดความทนทาน (N/mm^2)

ตัวประกอบขนาด (Size Factor, k_b) เป็นค่าตัวประกอบที่คูณกับค่าขีดจำกัดความทนทานจากชั้นทดสอบมาตรฐาน เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมกับชิ้นงาน โดยสมมติให้ใช้ค่า $k_b = 1$ สำหรับความหนาของถังไม่เกิน 8 มิลลิเมตร

ตัวประกอบของแรง (Load Factor, k_c) โดยแนะนำให้ใช้ค่าดังต่อไปนี้

$k_c = 1.00$ สำหรับการตัด
 $k_c = 0.80$ สำหรับการดึงหรือการกด
 $k_c = 0.60$ สำหรับการเฉือน

ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น (k_f) เป็นค่าที่ใช้สำหรับชิ้นงานอาจมีลักษณะขาดความต่อเนื่อง เช่น มีร่อง รูเจาะ เป็นต้น แต่ในการออกแบบ ณ ที่นี้ กำหนดให้ค่า $k_f = 1$ ซึ่งหมายความว่าไม่มีผลของความเค้นหนาแน่น เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของชิ้นงานอยู่ด้วย

ค่าความปลอดภัย เป็นตัวเลขที่นำไปหารค่าความต้านแรงดึงหรือความต้านแรงดึงครากของวัสดุ เพื่อให้ได้ความเค้นใช้งาน (Working Stress) ในชิ้นส่วนที่กำลังออกแบบ โดยค่าความปลอดภัยที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ สามารถเลือกใช้ได้ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความปลอดภัย

ที่มา: วรวิทย์ (2544)

ชนิดของแรง	เหล็กเหนียวและโลหะเหนียว		เหล็กหล่อและโลหะเปราะ
	N_y	N_u	N_u
แรงอยู่นิ่ง แรงซ้ำทิศทางเดียวหรือแรง กระแทกเล็กน้อย	1.5- 2	3 - 4	5 - 6
แรงซ้ำสองทิศทางหรือแรง กระแทกเล็กน้อย	3	6	7 - 8
แรงกระแทกอย่างหนัก	4	8	10 - 12
	5 - 7	10 - 15	15 - 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ถังทำความเย็นพักวัตุดิบที่ 1 (Cooling Tank 1)

จากปริมาณน้ำตาลมะพร้าวสดที่ต้องใช้เก็บเท่ากับ 1,000 ลิตรต่อวัน ดังนั้นถังที่ใช้เก็บน้ำตาลมะพร้าวสดต้องมีขนาด 1,000 ลิตร จำนวน 1 ใบ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังเท่ากับ 1,000 มิลลิเมตร สูง 1,500 มิลลิเมตร สามารถคำนวณด้วยสมการที่ 4.15 เพื่อคำนวณหาความหนาของถังทำความเย็นจากตารางที่ ก.8 คุณสมบัติวัสดุของเหล็กกล้าไร้สนิม

$$\text{จะได้ ความทนแรงดึงที่จุดล้า} \quad \sigma_y = 250 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{ความทนแรงดึง} \quad \sigma_u = 400 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{ขีดจำกัดความทนทาน} \quad \sigma_n &= 0.5\sigma_u \\ &= 200 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

ตัวประกอบผิว จากรูป ข.4 เมื่อ $\sigma_u = 400 \text{ N/mm}^2$ และเป็นผิวรีดร้อน จะได้ $k_a = 0.70$

$$\text{ตัวประกอบขนาด} \quad k_b = 1$$

$$\text{ตัวประกอบขนาดของแรง สำหรับแรงกด} \quad \text{จะได้} \quad k_c = 0.80$$

หาความต้านแรงทนทาน ได้ในสมการที่ 4.18

$$\sigma_n = 0.70 \times 1 \times 0.8 \times 200$$

$$\sigma_n = 112 \text{ N/mm}^2$$

ถังจะทำงานที่ความดันเปลี่ยนจาก

$$\text{ความดันสูงสุด} \quad P_{\max} = (\rho gh) + P_{\text{atm}} \quad (4.19)$$

เมื่อ P คือ ความดัน (MPa)

g คือ แรงโน้มถ่วง (m/s^2)

h คือ ความสูงของระดับของเหลวในถัง (m)

$$\text{เท่ากับ} \quad h = \frac{1,000}{\frac{\pi}{4} \times (1.00)^2 \times 1030.7}$$

$$h = 1.24 \text{ m}$$

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำตาลมะพร้าวผง (kg/m^3)

$$\text{แทนค่า} \quad P_{\max} = (1030.7 \times 9.81 \times 1.24) + 101325$$

$$P_{\max} = 12537.85 + 101325$$

$$= 113862.85 \text{ Pa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.1139 \text{ MPa}$$

ความดันต่ำสุด $P_{\min} = 0.1013 \text{ MPa}$ ณ ความดันบรรยากาศ

ความดันเฉลี่ย
$$P_m = \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2} \quad (4.20)$$

$$P_m = \frac{0.1139 + 0.1013}{2}$$

$$= 0.1076 \text{ MPa}$$

ความดันส่วนเปลี่ยนแปลง $P_a = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2} \quad (4.21)$

$$P_a = \frac{0.1139 - 0.1013}{2}$$

$$= 0.0063 \text{ MPa}$$

หาความเค้นเฉลี่ย ได้ในสมการที่ 4.16

$$\begin{aligned} \sigma_m &= \frac{0.1076 \times 500}{t} \\ &= \frac{53.8}{t} \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

หาความเค้นส่วนเปลี่ยนแปลง ได้ในสมการที่ 4.17

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \frac{0.0063 \times 500}{2t} \\ &= \frac{1.575}{t} \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 4.2 ให้ค่าความปลอดภัย (N) เท่ากับ 6 เนื่องจากเป็นแรงที่กระทำซ้ำทิศทางเดียวสามารถคำนวณหาความหนาของถังได้จากสมการที่ 4.15

แทนค่า

$$\frac{1}{6} = \frac{53.8}{t} + \frac{1.575}{t}$$

$$t = 1.375 \text{ mm}$$

จากการคำนวณความหนาของถังทำความเย็นมีค่าเท่ากับ 1.375 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาของถังในส่วนที่สัมผัสกับวัตถุเดือด จากการสำรวจตามแหล่งผลิตภัณฑ์พบว่า ความหนาของถังชั้นในมีขนาดส่วนใหญ่อยู่ประมาณ 1.5 มิลลิเมตร แต่เนื่องจากเป็นถังทำความเย็น ความหนาของถังทั้งหมดควรหนาพอเพื่อป้องกันการสูญเสียความเย็นภายในถัง โดยการออกแบบถังทำความเย็นทั่วไปตัวถังจะมีผนังสามชั้น ชั้นแรกเป็นชั้นที่อยู่ข้างในถัง วัสดุที่ใช้ทำจะต้องเป็นสแตนเลส เบอร์ 304 เนื่องจากเป็นส่วนที่สัมผัสกับอาหาร ชั้นที่สองทำหน้าที่

เป็นฉนวน เพื่อลดอัตราการถ่ายโอนความร้อน วัสดุที่นิยมใช้ เช่น Polyurethane โดยในชั้นนี้ จะมีความหนาประมาณ 35 – 55 มิลลิเมตร ส่วนชั้นที่สามเป็นชั้นที่อยู่ด้านนอกของถังเป็นชั้นที่ต้องสะอาดทำความสะอาดได้ง่าย ซึ่งส่วนใหญ่ใช้วัสดุเป็นสแตนเลส เบอร์ 304

2. ถังทำความเย็นพักวัตถุดิบที่ 2 และ 3 (Cooling Tank 2 & 3)

ถังทำความเย็นที่ใช้พักสารหรือรอป้อนเข้าสู่ขั้นตอนการระเหย จากปริมาณน้ำตาลมะพร้าวสดในอัตรา 970 ลิตรต่อวัน ตัวถังใช้วัสดุประเภทเดียวกับถังทำความเย็นที่ 1 คือ สแตนเลส เบอร์ 304 กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังเท่ากับ 840 มิลลิเมตร สูง 1000 มิลลิเมตร เป็นขนาดมาตรฐานของปริมาตรความจุ 500 ลิตร โดยแบ่งเก็บน้ำตาลมะพร้าวสดเป็นจำนวน 2 ใบ สามารถคำนวณหาความหนาของถังโดยใช้หลักการออกแบบสำหรับการแตกหักเนื่องจากความล้าได้ดังนี้

จากตารางที่ ก.8 คุณสมบัติวัสดุของเหล็กกล้าไร้สนิม

จะได้	ความทนแรงดึงที่จุดล้า	$\sigma_y = 250 \text{ N/mm}^2$
	ความทนแรงดึง	$\sigma_u = 400 \text{ N/mm}^2$
	ขีดจำกัดความทนทาน	$\sigma_n = 0.5\sigma_u$ $= 200 \text{ N/mm}^2$

ตัวประกอบผิว จากรูป ข.4 เมื่อ $\sigma_u = 400 \text{ N/mm}^2$ และเป็นผิวรีดร้อน จะได้ $k_a = 0.70$

ตัวประกอบขนาด $k_b = 1$

ตัวประกอบขนาดของแรง สำหรับแรงกด จะได้ $k_c = 0.80$

หาความต้านแรงทนทาน ได้ในสมการที่ 4.18

$$\sigma_n = 0.70 \times 1 \times 0.8 \times 200$$

$$\sigma_n = 112 \text{ N/mm}^2$$

หาค่าความดันสูงสุด (P_{\max}), ความดันเฉลี่ย (P_m) และควาต้านส่วนเปลี่ยน (P_a) ได้จากสมการที่ 4.19, 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ

ความดันสูงสุด $P_{\max} = (\rho gh) + P_{\text{atm}}$

$$\text{หา } h \text{ จาก } h = \frac{500}{\frac{\pi}{4} \times (0.84)^2 \times 1030.7}$$

$$h = 0.88 \text{ m}$$

แทนค่า

$$P_{\max} = (1030.7 \times 9.81 \times 0.88) + 101325$$

$$P_{\max} = 8897.83 + 101325$$

$$= 110222.83 \text{ Pa}$$

$$= 0.1102 \text{ MPa}$$

$$P_m = 0.1058 \text{ MPa}$$

$$P_a = 0.0045 \text{ MPa}$$

หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาแทนค่าลงในสมการที่ 4.16 และ 4.17 เพื่อหาความเค้นเฉลี่ย (σ_m) และความเค้นส่วนเปลี่ยน (σ_a)

แทนค่า

$$\sigma_m = \frac{44.436}{t} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{0.945}{t} \text{ N/mm}^2$$

สมมติว่าไม่มีความเค้นหนาแน่น จะได้ $k_f = 1$ และให้ค่าความปลอดภัย (N) เท่ากับ 6 ดังนั้นสามารถหาค่าความหนาของถังพักสารได้จากสมการที่ 4.15

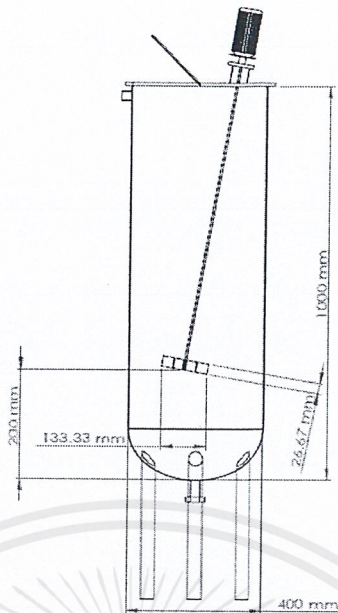
$$t = 1.12 \text{ mm}$$

จากการคำนวณความหนาของถังทำความเย็นสำหรับพักสารในส่วนที่สัมผัสกับวัตถุดิบมีค่าเท่ากับ 1.12 มิลลิเมตร โดยจากการสำรวจตามแหล่งผลิตภัณฑ์พบว่า ความหนาของถังขนาดส่วนใหญ่ที่ควรออกแบบเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร

3. ถังกวนสาร (Mixing Tank)

รายละเอียดของอุปกรณ์ (Specification)

ถังกวนสารใช้ผสมสารเจือปนและสาร Anti Cake ลงไปในน้ำตาลมะพร้าว โดยออกแบบถังให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ก้นถังมีลักษณะโค้งออก ภายในถังมีใบกวนซึ่งขับเคลื่อนโดยใช้กำลังของมอเตอร์ที่อยู่ด้านบนของตัวถัง และมีส่วนประกอบอื่น ๆ ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ถังกวนสารขนาด 100 ลิตร

ขนาดของถังกวนจะมีสารบรรจุอยู่ในถัง 66.075 ลิตรต่อชั่วโมง จึงเลือกใช้ถังที่มีขนาด 100 ลิตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 400 มิลลิเมตร สูง 1000 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานที่ขายโดยทั่วไป จำนวน 2 ใบ และเลือกใช้วัสดุสแตนเลส เบอร์ 304 เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อน ทนอุณหภูมิสูงและไม่เกิดเป็นสนิม

จากตารางที่ ก.8 คุณสมบัติวัสดุของเหล็กกล้าไร้สนิม

จะได้	ความทนแรงดึงที่จุดล้า	$\sigma_y = 250 \text{ N/mm}^2$
	ความทนแรงดึง	$\sigma_u = 400 \text{ N/mm}^2$
	ขีดจำกัดความทนทาน	$\sigma_n = 0.5\sigma_u$ $= 200 \text{ N/mm}^2$

ตัวประกอบผิว จากรูป ข.4 เมื่อ $\sigma_u = 400 \text{ N/mm}^2$ และเป็นผิวรีดร้อน จะได้ $k_a = 0.70$

ตัวประกอบขนาด $k_b = 1$

ตัวประกอบขนาดของแรง สำหรับแรงกด จะได้ $k_c = 0.80$

หาความต้านแรงทนทาน ได้ในสมการที่ 4.18

$$\sigma_n = 0.70 \times 1 \times 0.8 \times 200$$

$$\sigma_n = 112 \text{ N/mm}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่าความดันสูงสุด (P_{\max}), ความดันเฉลี่ย (P_m) และความดันส่วนเปลี่ยน (P_a) ได้จากสมการที่ 4.19, 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ

ความดันสูงสุด
$$P_{\max} = (\rho gh) + P_{\text{atm}}$$

หา h จาก
$$h = \frac{66.075}{\frac{\pi}{4} \times (0.40)^2 \times 1115.9}$$

$$h = 0.47 \text{ m}$$

แทนค่า
$$P_{\max} = (1115.9 \times 9.81 \times 0.47) + 101325$$

$$P_{\max} = 5145.08 + 101325$$

$$= 106470.08 \text{ Pa}$$

$$= 0.1065 \text{ MPa}$$

$$P_m = 0.1039 \text{ MPa}$$

$$P_a = 0.0026 \text{ MPa}$$

หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาแทนค่าลงในสมการที่ 4.16 และ 4.17 เพื่อหาความเค้นเฉลี่ย (σ_m) และความเค้นส่วนเปลี่ยน (σ_a)

แทนค่า
$$\sigma_m = \frac{20.78}{t} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{0.26}{t} \text{ N/mm}^2$$

สมมติว่าไม่มีความเค้นหนาแน่น จะได้ $k_f = 1$ และให้ค่าความปลอดภัย (N) เท่ากับ 6 ดังนั้นสามารถหาค่าความหนาของถังพักสารได้จากสมการที่ 4.15

$$t = 0.513 \text{ mm}$$

จากการคำนวณความหนาของถังพักสารมีค่าเท่ากับ 0.513 มิลลิเมตร โดยความหนาของถังที่ 0.513 มิลลิเมตร ไม่มีการผลิตในท้องตลาด ดังนั้นจึงเลือกความหนาของถังพักสารเท่ากับ 1.00 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานที่ใกล้เคียงสุด

- หาขนาดของใบกวนของถังกวนสาร

ในขั้นตอนการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลมะพร้าวกับสาร Additives จะต้องอาศัยการกวน เพื่อผสมสารให้เข้ากัน ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบถังกวนสารให้ภายในมีใบกวนตามขนาดที่ต้องการ และหากำลังมอเตอร์ที่ใช้ในการขับกำลังของมอเตอร์สามารถคำนวณได้จากสูตร (วิวัฒน์ และคณะ 2543)

$$P = \frac{\rho n^3 D_i^5 N_p}{g} \quad (4.22)$$

เมื่อ N_p คือ Power Number

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

n คือ รอบหมุน (r.p.s)

D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (mm)

กำลังของมอเตอร์ที่ทำการชดเชยแล้วได้ดังนี้

$$P^* = P \times f_c \quad (4.23)$$

เมื่อ P^* คือ กำลังมอเตอร์ที่ทำการชดเชยแล้ว

P คือ กำลังมอเตอร์ที่ทำการคำนวณได้ตามสมการที่

f_c คือ ค่าชดเชยความคลาดเคลื่อน

กำลังของมอเตอร์ที่ได้จากสูตรนี้คิดที่ประสิทธิภาพของมอเตอร์ 100 % แต่เนื่องจากค่าสัดส่วนต่างๆ ของหม้อกวนแตกต่างจากค่าสัดส่วนของเส้นโค้งหมายเลข 1 เล็กน้อย ดังนั้นจึงต้องชดเชยความคลาดเคลื่อน โดยอาศัยสูตรต่อไปนี้

$$\text{โดย} \quad f_c = \sqrt{\frac{(D_t/D_i)^*(H_1/H_i)^*}{(D_t/D_i)(H_1/H_i)}} \quad (4.24)$$

เมื่อ D_t คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของถังกวน (mm)

D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (mm)

H_t คือ ความสูงของสารภายในถัง (mm)

H_i คือ ความสูงของสารจากก้นถังถึงใบกวน (mm)

โดยที่ตัวแปรที่มีเครื่องหมาย * จะเป็นขนาดอัตราส่วนของถังกวนที่กำลังคำนวณและตัวแปรที่ไม่มีเครื่องหมายนี้จะ เป็นอัตราส่วนของเส้นโค้งในรูปที่ ข.3

รายละเอียดของอุปกรณ์ (Specification)

เลือกใช้สแตนเลส เบอร์ 304 เป็นวัสดุในการทำใบกวนเพราะทนต่อการกัดกร่อนของสารและไม่เกิดเป็นสนิม ซึ่งรูปร่างลักษณะของใบกวนที่เลือกใช้เป็นใบกวนแบบใบพัดกึ่งหัน (Turbine Agitator) และเป็นกึ่งหันแบบมาตรฐานหรือแบบมีแผ่นกลมปิดด้านบนชนิด 6 ใบ ดังรูปที่ ข.2 ตามที่แสดงไว้ในภาคผนวก เนื่องจากเป็นใบพัดที่เหมาะสมสำหรับของเหลวที่มีความหนืดในช่วงกว้างสามารถหาขนาดของใบกวนและกำลังที่ใช้ขับของใบกวนได้ดังนี้

จากตารางที่ ก.6 จะได้ความสัมพันธ์ของขนาดใบกวนดังนี้

$$D_t/D_i = 3$$

$$W_i/D_i = 0.2$$

เมื่อ D_t คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของถังกวน = 400 (mm)

D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (mm)

L_i คือ ความยาวของใบกวน (mm)

W_i คือ ความสูงของใบกวน (mm)

จากความสัมพันธ์ที่ได้ี้สามารถคำนวณหาขนาดของใบกวนได้ดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (D_i) เท่ากับ 133.33 มิลลิเมตร

ความสูงของใบกวน (W_i) เท่ากับ 26.67 มิลลิเมตร

ความสูงของของเหลวในหม้อกวนจะเท่ากับ

$$H_1 = \frac{66.075}{\frac{\pi}{4} \times (0.40)^2 \times 1,115.9}$$

$$H_1 = 0.47 \text{ m}$$

จากรูปที่ 4.16 เมื่อ H_i คือ ความสูงจากก้นถึง กำหนด เท่ากับ 0.20 เมตร

ดังนั้น
$$\frac{H_1}{D_i} = \frac{0.47}{0.133} = 3.53$$

$$\frac{H_i}{D_i} = \frac{0.20}{0.133} = 1.50$$

$$\frac{D_t}{D_i} = \frac{0.40}{0.133} = 3$$

$$N_{Re} = \frac{nD_i^2 \rho}{\mu}$$

เมื่อ N_{Re} คือ Reynolds number

μ คือ ความหนืดเฉื่อยของสารทั้ง 3 ชนิด (kg/m-s) เท่ากับ 40.8 cP

n คือ ความเร็วรอบ (r.p.s)

ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m³)

D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (mm)

กำหนดรอบหมุน 750 rpm

แทนค่า

$$N_{Re} = \frac{750 \times 0.15^2 \times 1,115.90}{60 \times 0.0408}$$

$$N_{Re} = 7692.3$$

จากการเลือกลักษณะของใบกวนจะมีความสัมพันธ์ต่างๆ ซึ่งสามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาเลือกเส้นโค้งที่ 1 ได้จากรูปที่ ข.3

จากอัตราส่วนของขนาดเหล่านี้ จะได้ $N_{Re} = 7.69 \times 10^3$ นั้น $N_p = 6$ ดังนั้น กำลังขับของใบกวนจะคำนวณได้จากนิยามของ N_p ได้จากสมการที่ 4.19 ดังนี้

แทนค่า

$$P = \frac{1,115.9 \times \left(\frac{750}{60}\right)^3 \times 0.133^5 \times 6}{9.81}$$

$$P = 55.5 \text{ kg. m/ sec} = 0.73 \text{ HP}$$

กำลังของมอเตอร์ที่ได้จากสูตรนี้คิดที่ประสิทธิภาพของมอเตอร์ 100 % แต่เนื่องจากค่าสัดส่วนต่างๆ ของหม้อกวนแตกต่างจากค่าสัดส่วนของเส้นโค้งหมายเลข 1 เล็กน้อย ดังนั้นจึงต้องขดเซยความคลาดเคลื่อน โดยอาศัยสูตรที่ 4.24 ดังต่อไปนี้

แทนค่า

$$f_c = \sqrt{\frac{(3)(3.53)}{(3)(3)}} = 1.085$$

ดังนั้นกรณีนี้สามารถหากำลังของมอเตอร์ที่ทำการขดเซยแล้วได้จากสมการที่ 4.20

แทนค่า

$$P^* = 0.73 \times 1.085$$

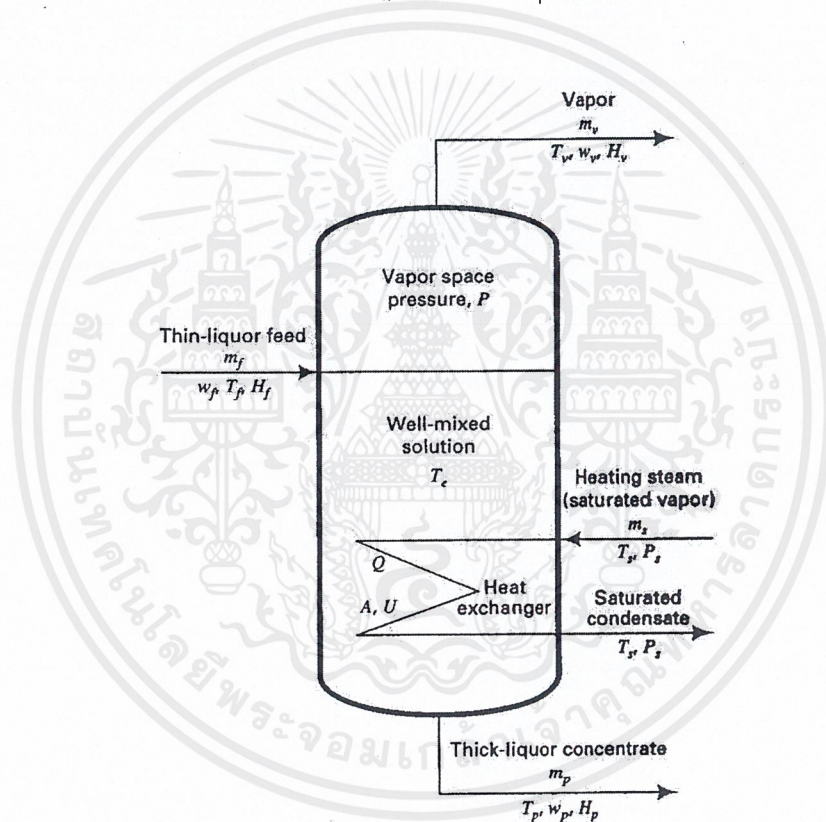
$$P^* = 0.79 \text{ HP}$$

จากสูตรที่ 4.20 และคำนวณค่าต่าง ๆ ดังกล่าวได้กำลังมอเตอร์ของใบกวนเท่ากับ 0.79 HP แต่จากการสำรวจราคาในท้องตลาด พบว่าขนาดของมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงเท่ากับ 1 HP ดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์ที่มีขนาด 1 HP เป็นต้นกำลังในการกวนผสมสารในถังกวน

- คำนวณหาปริมาณไอน้ำและขนาดของเครื่องระเหย

โดยการคำนวณนั้นจะพิจารณาจากการสมดุลมวล (Mass Balance) สมดุลพลังงาน (Energy Balance) และอัตราการถ่ายโอนความร้อน ที่ปฏิบัติงานภายใต้การไหลอย่างต่อเนื่องที่สถานะคงตัว โดยเครื่องระเหยนั้นแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การปฏิบัติการผลเชิงเดี่ยว (Single Effect Operation) และการปฏิบัติการผลหลายเชิง (Multiple Effect Operation) เพื่อประกอบการพิจารณาในการเลือกใช้จึงทำการคำนวณแบบเครื่องระเหยแบบผลเชิงเดี่ยว (1 Effect - Evaporator) และเครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟค (3 Effect - Evaporators)

1. เครื่องระเหยแบบผลเชิงเดี่ยว (1 Effect Evaporator)



รูปที่ 4.17 แบบจำลองเครื่องระเหยผลเชิงเดี่ยวแบบการไหลต่อเนื่องที่สภาวะคงตัว
ที่มา: Seader & Henley (2006)

สำหรับหาสูตรแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องระเหยนั้น สามารถกำหนดข้อสมมุติหลักจำนวน 7 ข้อ ได้ดังต่อไปนี้

1. ของเหลวเจือจางที่ป้อนเข้าเครื่องระเหย จะต้องมียอดประกอบที่ระเหยได้ง่ายเพียงองค์ประกอบเดียวเท่านั้น ตัวอย่างเช่น น้ำ
2. มีเพียงความร้อนแฝงของไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิ T_s เท่านั้นที่สารละลายสามารถนำมาใช้ เพื่อทำให้สารละลายร้อน และกลายเป็นไอน้ำในเครื่องระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเดือดของสารละลายที่ถูกกวน บนพื้นผิวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องระเหยมีอย่างพอเพียง ทำให้เกิดการผสมอย่างสมบูรณ์ขึ้น ดังนั้น อุณหภูมิของสารละลายในเครื่องระเหย จะเท่าอุณหภูมิของสารละลายเข้มข้นที่ออกจากเครื่องระเหย นั่นคือ อุณหภูมิสารละลายระเหย มีค่าเท่ากับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ไหลออกจากเครื่องระเหย ($T_e = T_p$) และทำให้อุณหภูมิสารละลายระเหยในเครื่องระเหยเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ที่อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ไหลออกจากเครื่องระเหย ($T_v = T_p$)

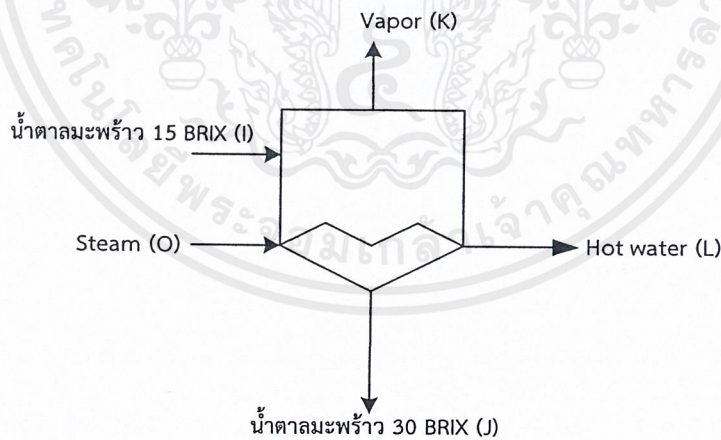
4. จากสมมติฐานหลักข้อที่ 2 และข้อที่ 3 อุณหภูมิรวมที่เป็นแรงขับเคลื่อนสำหรับการถ่ายโอนความร้อน คือ ผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับผลต่างของอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว กับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ($T_s - T_p$)

5. ผลต่างของอุณหภูมิ มีค่าสูงเพียงพอที่ทำให้เกิดการเดือด และไม่สูงจนทำให้เกิดฟิล์มการเดือด

6. อุณหภูมิส่วนที่เป็นไอที่ออกจากเครื่องระเหย (T_v) เท่ากับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (T_p) และอุณหภูมิภายในเครื่องระเหย (T_e) นั่นคือ $T_v = T_p = T_e$ เช่นเดียวกับความดันของไอส่วนที่เป็นที่ว่างในเครื่องระเหย

7. ไม่มีการสูญเสียความร้อนจากเครื่องระเหย

จากพื้นฐานสมมติฐานหลักทั้งเจ็ดข้อของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย การดุลมวลรวม การดุลมวลตัวละลาย การดุลพลังงาน หรือการดุลเอนทัลปีของสารละลาย การดุลพลังงาน หรือการดุลเอนทัลปีของไอน้ำร้อน และการหาอัตราการถ่ายโอนความร้อน โดยมีสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.18 เครื่องระเหยแบบผลเชิงเดียว

สมดุลมวลรวม

$$I = J + K$$

เมื่อ I คือ ปริมาณสารขาเข้า (kg/h)

J คือ ปริมาณสารขาออก (kg/h)

K คือ ปริมาณไอน้ำที่ได้จากชุดหม้อต้ม (kg/h)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมดุลพลังงานบนสารละลาย

$$q = KH_K + J \cdot H_J - I \cdot H_I \quad (4.22)$$

เมื่อ H_I คือ เอนทัลปีของของเหลวที่ป้อนเข้า (kJ/kg)

H_J คือ เอนทัลปีของของเหลวที่ออกจากหม้อระเหย (kJ/kg)

H_K คือ เอนทัลปีของของไอระเหย (kJ/kg)

สมดุลพลังงานบนไอน้ำร้อน

$$q = O \cdot \Delta H_{vap} \quad (4.23)$$

เมื่อ ΔH_{vap} คือ ผลต่างเอนทัลปี (kJ/kg)

อัตราการถ่ายโอนความร้อน

$$q = AU\Delta T \quad (4.24)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ของพื้นผิวถ่ายโอนความร้อน (m^2)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม ($W/m^2\text{ }^\circ C$)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิ ($^\circ C$)

ป้อนน้ำตาลมะพร้าวสดในอัตรา 121.25 kg/h เข้าเครื่องระเหยแบบ 1 เอฟเฟค เพื่อหาอัตราไหลของไอน้ำร้อน ($^\circ C$) เมื่อมีความเข้มข้นขาเข้าร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก และมีความเข้มข้นขาออกของน้ำตาลมะพร้าวร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ระบบการป้อนแบบไปข้างหน้า อุณหภูมิที่ป้อนเข้าสู่เอฟเฟคแรกเท่ากับ $4^\circ C$ ป้อนไอน้ำอิ่มตัวที่ความดัน 200 KPa ณ อุณหภูมิ $120^\circ C$ เข้าหม้อระเหย ทำให้อุณหภูมิภายในหม้อระเหยมีค่าเท่ากับ $60^\circ C$ ซึ่งมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของน้ำตาลมะพร้าว 30 BRIX สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน มีค่าเท่ากับ $3,400 W/m^2 K$ (Hsiang, J., 2554)

จากสมการที่ 4.22 และ 4.23 สามารถสมดุลพลังงาน (Energy Balance) ของเครื่องระเหยแบบ 1 เอฟเฟค เป็นดังต่อไปนี้

$$KH_K + J \cdot H_J - I \cdot H_I = O\Delta H_{vap}$$

เมื่อ $H_K = 2581.06 \text{ kJ/kg}$

$$H_J = 0.7(251.13) + 0.30(3.18)(60 - 0) = 233.03 \text{ kJ/kg}$$

$$H_I = 0.85(16.78) + 0.15(3.18)(4 - 0) = 16.171 \text{ kJ/kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า

$$60.625(2581.06) + 60.625(233.03) - 121.25(16.171) = 0(2202.6)$$

$$O = 76.57 \text{ kg/h}$$

∴ ปริมาณไอน้ำที่ต้องการของเครื่องระเหยแบบผลเชิงเดียวเท่ากับ 76.57 kg/h

$$q = 76.57 \times 2202.06 \\ = 168611.73 \text{ kJ/h}$$

พื้นที่ที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อน หาได้จากอัตราการถ่ายโอนความร้อน สมการที่ 4.24

แทนค่า

$$A = \frac{168611.73}{3,400 \times (120 - 60)}$$

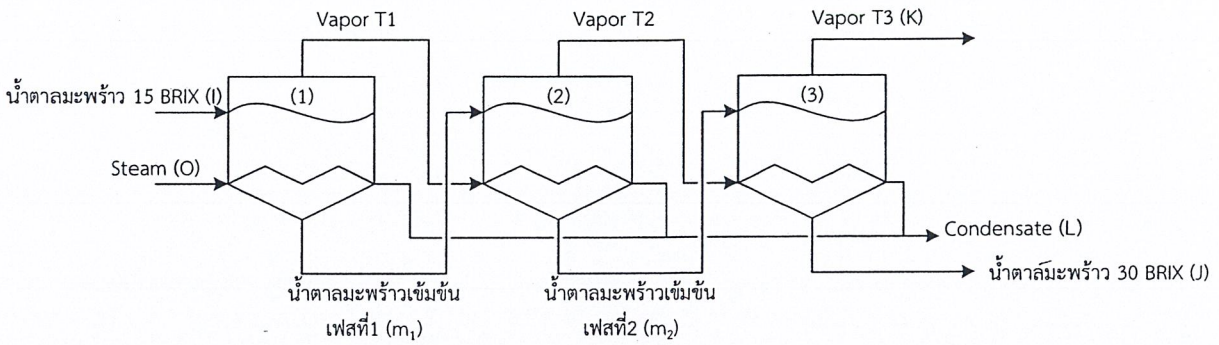
$$A = 0.826 \text{ m}^2$$

∴ พื้นที่ที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระเหยแบบผลเชิงเดียวเท่ากับ 0.43 m²

2. เครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟค (3 Effect Evaporators)

ถ้าไอน้ำที่ได้จากเครื่องระเหยเครื่องที่หนึ่ง ถูกป้อนเข้าไปในช่องป้อนไอน้ำเครื่องระเหยเครื่องที่สองเพื่อใช้ไอน้ำส่วนนี้เป็นแหล่งพลังงาน และไอน้ำจากจากเครื่องระเหยเครื่องที่สองถูกส่งไปในช่องป้อนไอน้ำเครื่องระเหยครั้งที่สาม การทำงานแบบนี้จะเรียกว่า เครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟค เครื่องระเหยแบบนี้มีการนำไอน้ำที่เกิดจากการระเหยในเครื่องระเหยก่อนหน้ามาใช้เป็นแหล่งพลังงานในเครื่องระเหยเครื่องต่อไป ซึ่งสามารถทำเช่นนี้ได้ก็ต่อเมื่อ ไอน้ำที่ระเหยมาจากเครื่องระเหยก่อนหน้าต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของสารละลายที่อยู่ในเครื่องระเหยที่รับไอน้ำมาเป็นแหล่งพลังงาน นั่นคือ ความดันภายในเครื่องระเหยเครื่องแรกจะต้องสูงกว่าความดันภายในเครื่องระเหยเครื่องที่สอง การกระทำเช่นนี้ จึงเป็นการใช้พลังงานความร้อนอย่างคุ้มค่า และประหยัด ไอน้ำที่ผลิตได้จากเครื่องระเหยจำนวนน้อยกว่าหนึ่งกิโลกรัม เกิดจากการป้อนไอน้ำร้อนเข้าเครื่องระเหยหนึ่งกิโลกรัม สัดส่วนนี้เรียกว่า ความประหยัดในการใช้ไอน้ำ (Steam Economy)

โดยสามารถคำนวณหาได้จากการดุลมวลรวม การดุลมวลตัวละลาย การดุลพลังงาน หรือการดุลเอนทัลปีของสารละลาย การดุลพลังงาน หรือการดุลเอนทัลปีของไอน้ำร้อน และการหาอัตราการถ่ายโอนความร้อน



รูปที่ 4.19 เครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟค

สมดุลมวลรวม

$$I = J + K$$

สมดุลพลังงานบนสารละลาย

$$q_1 = (I - m_1)H_{v1} + m_1H_1 - IH_1 \quad (4.25)$$

$$q_2 = (m_1 - m_2)H_{v2} + m_2H_2 - m_1H_1 \quad (4.26)$$

$$q_3 = (m_2 - J)H_{v3} + J.H_J - m_2H_2 \quad (4.27)$$

เมื่อ	m_1	คือ สารเข้มข้นที่ออกจากเฟสที่ 1 (kg/h)
	m_2	คือ สารเข้มข้นที่ออกจากเฟสที่ 2 (kg/h)
	H_{v1}	คือ เอนทัลปีของไอร้อน ณ อุณหภูมิของหม้อระเหยที่ 1 (kJ/kg)
	H_{v2}	คือ เอนทัลปีของไอร้อน ณ อุณหภูมิของหม้อระเหยที่ 2 (kJ/kg)
	H_{v3}	คือ เอนทัลปีของไอร้อน ณ อุณหภูมิของหม้อระเหยที่ 3 (kJ/kg)
	H_1	คือ เอนทัลปีของของเหลวที่ป้อนเข้า (kJ/kg)
	H_1	คือ เอนทัลปีของของเหลวของหม้อระเหยที่ 1 (kJ/kg)
	H_2	คือ เอนทัลปีของของเหลวของหม้อระเหยที่ 2 (kJ/kg)
	H_J	คือ เอนทัลปีของของเหลวของหม้อระเหยที่ 3 (kJ/kg)

สมดุลพลังงานบนไอน้ำร้อน

$$q_1 = O\Delta H_O^{vap} \quad (4.28)$$

$$q_2 = (I - m_1)\Delta H_2^{vap} \quad (4.29)$$

$$q_3 = (m_1 - m_2)\Delta H_3^{vap} \quad (4.30)$$

เมื่อ	ΔH_O^{vap}	คือ ผลต่างเอนทัลปี ณ หม้อระเหยที่ 1 (kJ/kg)
	ΔH_2^{vap}	คือ ผลต่างเอนทัลปี ณ หม้อระเหยที่ 2 (kJ/kg)
	ΔH_3^{vap}	คือ ผลต่างเอนทัลปี ณ หม้อระเหยที่ 3 (kJ/kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการถ่ายโอนความร้อน

$$q_1 = U_1 A_1 \Delta T_1 \quad (4.31)$$

$$q_2 = U_2 A_2 \Delta T_2 \quad (4.32)$$

$$q_3 = U_3 A_3 \Delta T_3 \quad (4.33)$$

ความจุเครื่องระเหยรวมเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการถ่ายโอนความร้อนรวม จาก รูปที่ การถ่ายโอนความร้อนรวม (q_T) ในสามเอฟเฟค หาได้จาก $q_T = q_1 + q_2 + q_3$ เมื่อ แทนค่า จะได้

$$q_T = U_1 A_1 \Delta T_1 + U_2 A_2 \Delta T_2 + U_3 A_3 \Delta T_3 \quad (4.34)$$

กำหนดให้พื้นที่ของพื้นผิวถ่ายโอนความร้อน (A) และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม (U) ของแต่ละเอฟเฟคมีค่าเท่ากัน ทำให้ $A_1 = A_2 = A_3 = A$ และ $U_1 = U_2 = U_3 = U$ สมการที่ 4.34 จึงเป็น

$$q_T = U A (\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3) = UA \Delta T \quad (4.35)$$

เมื่อ ΔT เป็นผลต่างของอุณหภูมิระหว่างไอน้ำในเอฟเฟคแรกกับอุณหภูมิของส่วน ระเหยเป็นไอน้ำในเอฟเฟคสุดท้าย

ป้อนน้ำตาลมะพร้าวสดในอัตรา 121.25 kg/h เข้าเครื่องระเหย Multiple Evaporators แบบ 3 เอฟเฟค เพื่อหาอัตราไหลของไอน้ำร้อน (O) เมื่อมีความเข้มข้นขาเข้า ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก และมีความเข้มข้นขาออกของน้ำตาลมะพร้าวร้อยละ 30 โดย น้ำหนัก ใช้ระบบการป้อนแบบไปข้างหน้า อุณหภูมิที่ป้อนเข้าสู่เอฟเฟคแรกเท่ากับ 4 °C และเอฟเฟคที่สามปฏิบัติการที่ความดัน 10 KPa ณ อุณหภูมิ 60 °C ป้อนไอน้ำอิ่มตัวที่ ความดัน 200 KPa ณ อุณหภูมิ 120 °C เข้าเอฟเฟคที่หนึ่ง อุณหภูมิของน้ำตาลมะพร้าว 30 Brix มีค่าเท่ากับอุณหภูมิของหม้อเอฟเฟคที่สาม สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมใน เอฟเฟคที่หนึ่ง เอฟเฟคที่สอง และเอฟเฟคที่สาม มีค่าเท่ากับ 3,400 W/m² K (Hsiang, J., 2554) เมื่อกำหนดให้พื้นที่การถ่ายโอนความร้อนของทั้งสามเอฟเฟคมีค่าเท่ากัน

จากสมการดุลมวลรวม (Total Mass Balance) ของชุดหม้อต้ม

ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวเข้มข้น 30 BRIX (J)

$$\begin{aligned} J &= 485 \text{ kg} \\ &= 60.625 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

สารละลายที่ป้อนมีความเข้มข้นร้อยละ 15

$$\begin{aligned} \text{อัตราไหลของคอลลอยด์ที่ป้อน (si.l)} &= (0.15) (121.25 \text{ kg/h}) \\ &= 18.1875 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสารละลายที่ระเหยเป็นคอลลอยด์ ดังนั้นจึงไม่มีผลทำให้จุดเดือดของสารละลายเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของสารละลายในเอฟเฟกต์ที่สาม คือ อุณหภูมิของน้ำที่อิมตัวที่ความดัน 10 kPa 60 °C อุณหภูมิของน้ำที่อิมตัวในเอฟเฟกต์ที่หนึ่งที่ความดัน 200 kPa 120 °C

$$\Delta T = 120 - 60 = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

เนื่องจากไม่มีผลจากการเพิ่มขึ้นของจุดเดือด ผลต่างของอุณหภูมิทั้งสามเอฟเฟกต์เท่ากับผลรวมของผลต่างของอุณหภูมิในแต่ละเอฟเฟกต์ นั่นคือ

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$$

$$60 \text{ }^{\circ}\text{C} = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$$

จาก ΔT ของเอฟเฟกต์ทั้งสามเป็นสัดส่วนกับสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม ดังสมการที่ 4.31 -4.33 จะได้

$$\Delta T_1 = \left(\frac{U_3}{U_1}\right) \Delta T_3$$

$$\Delta T_2 = \left(\frac{U_3}{U_2}\right) \Delta T_3$$

แก้สมการ

$$\Delta T_1 = 60 - \Delta T_2 - \Delta T_3$$

แทนค่า เมื่อ $U_1 = U_2 = U_3$

$$60 - \Delta T_2 - \Delta T_3 = \Delta T_3$$

$$\Delta T_2 = \Delta T_3$$

$$3 \Delta T_3 = 60$$

$$\Delta T_3 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T_3 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_1 = T_s - T_1 \quad ; \quad T_1 = 120 - 20 = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_1 - T_2 \quad ; \quad T_2 = 100 - 20 = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_3 = T_2 - T_3 \quad ; \quad T_3 = 80 - 20 = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

ประมาณค่า m_1 และ m_2

อัตราการระเหยรวมของทั้งสามเอฟเฟกต์ ซึ่งสมมุติว่ามีค่าเท่ากันทั้งสามเอฟเฟกต์ ดังนั้น

$$I - J = 121.25 - 60.625 = 60.625 \text{ kg/h}$$

ปริมาณของส่วนที่เป็นไอในเอฟเฟกต์ทั้งสามมีค่าเท่ากัน

$$I - m_1 = \frac{60.625}{3} = 20.208 \text{ kg/h}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \dot{m}_1 = 101.042 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 - 20.208 = 80.834 \text{ kg/h}$$

$$J = \dot{m}_2 - 20.208 = 60.625 \text{ kg/h}$$

สัดส่วนโดยน้ำหนักในแต่ละเฟสโดยประมาณ เป็นสัดส่วนกับมวลของคอลลอยด์ที่ป้อนกับมวลของสารละลาย

$$w_1 = \frac{\text{si.I}}{\dot{m}_1} = \frac{18.1875}{101.042} = 0.180$$

$$w_2 = \frac{\text{si.I}}{\dot{m}_2} = \frac{18.1875}{80.834} = 0.225$$

$$w_3 = \frac{\text{si.I}}{J} = \frac{18.1875}{60.626} = 0.300$$

ค่าที่ได้เป็นค่าโดยประมาณ จึงต้องคำนวณหาค่าของ T_1, T_2, \dot{m}_1 และ \dot{m}_2 ซ้ำเพื่อหาค่าที่ถูกต้อง และให้ผลที่แม่นยำ โดยใช้ค่าของ A, O, q_1, q_2 และ q_3 มาคำนวณ

รวมสมการที่ 4.25 ถึงสมการที่ 4.30 เป็นการสมดุลพลังงาน (Energy Balance) ของเครื่องระเหย ทั้ง 3 เฟส เพื่อกำจัด q_1, q_2 และ q_3 โดยใช้ค่าโดยประมาณของ T_1, T_2, T_3, W_1 และ W_2 จากการคำนวณ จะได้ค่าเอนทัลปีจำเพาะ และได้สมการที่ใช้หาค่าโดยประมาณใหม่ของตัวแปร O, \dot{m}_1 และ \dot{m}_2 ค่าโดยประมาณ W_1 และ W_2 สามารถคำนวณดังนี้

$$\Delta H_0^{\text{vap}} = 2202.6 \text{ kJ/kg ที่ } T = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta H_2^{\text{vap}} = 2257.0 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H_3^{\text{vap}} = 2308.8 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{v1} = 2664.50 \text{ kJ/kg ที่ } T_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H_{v2} = 2662.78 \text{ kJ/kg ที่ } T_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H_{v3} = 2581.06 \text{ kJ/kg ที่ } T_3 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

ความร้อนจำเพาะของของแข็งที่ละลายน้ำได้ (C)

จาก

$$C = 0.837 + 3.349X_w$$

เมื่อ X_w คือ สัดส่วนโดยมวลของน้ำในอาหาร

แทนค่า

$$C = 0.837 + 3.349(0.7)$$

$$C = 3.18 \text{ kJ/kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H = W(h_f) + S(C)(\Delta T)$$

$$H_1 = 0.85(16.78) + 0.15(3.18)(4 - 0) = 16.171 \text{ kJ/kg}$$

$$H_1 = 0.82(419.04) + 0.18(3.18)(100 - 0) = 400.85 \text{ kJ/kg}$$

$$H_2 = 0.775(334.91) + 0.225(3.18)(80 - 0) = 316.80 \text{ kJ/kg}$$

$$H_j = 0.7(251.13) + 0.30(3.18)(60 - 0) = 233.03 \text{ kJ/kg}$$

ค่าเอนทัลปีที่ได้แทนลงในสมการสมดุลพลังงานระหว่างสารละลายกับไอน้ำ

$$(I - \dot{m}_1)H_{v1} + \dot{m}_1 H_1 - I H_I = O \Delta H_0^{\text{vap}}$$

$$(121.25 - \dot{m}_1)2664.50 + \dot{m}_1 \times 400.85 - 121.25 \times 16.171 = 0 \times 2202.6$$

$$321109.8913 - 2263.65\dot{m}_1 = 2202.6 \times 0 \quad (4.36)$$

$$(\dot{m}_1 - \dot{m}_2)H_{v2} + \dot{m}_2 H_2 - \dot{m}_1 H_1 = (I - \dot{m}_1)\Delta H_2^{\text{vap}}$$

$$(\dot{m}_1 - \dot{m}_2)2662.78 + \dot{m}_2 \times 316.80 - \dot{m}_1 \times 400.85 = (121.25 - \dot{m}_1) \times 2257.0$$

$$4518.73\dot{m}_1 - 2345.98\dot{m}_2 = 273661.25 \quad (4.37)$$

$$(\dot{m}_2 - J)H_{v3} + J \cdot H_j - \dot{m}_2 H_2 = (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)\Delta H_3^{\text{vap}}$$

$$(\dot{m}_2 - 60.625) \times 2581.06 + 60.625 \times 233.03 - \dot{m}_2 \times 316.80 = (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) \times 2308.8$$

$$4573.06\dot{m}_2 - 2308.8\dot{m}_1 = 142349.3188 \quad (4.38)$$

$$(4.37) \times 2308.8 \quad 10532902.9\dot{m}_1 - 5507019.024\dot{m}_2 = 631,829,094 \quad (4.39)$$

$$(4.38) \times 4518.73 \quad 21023693.07\dot{m}_2 - 10532902.9\dot{m}_1 = 659,695,939 \quad (4.40)$$

$$(4.39) + (4.40) \quad 15248024.79\dot{m}_2 = 1,275,067,231$$

$$\therefore \dot{m}_2 = 83.62 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_1 = 103.98 \text{ kg/h}$$

$$O = 38.92 \text{ kg/h}$$

∴ ปริมาณไอน้ำที่ต้องการของเครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟค เท่ากับ 38.92 kg/h

คำนวณสัดส่วนโดยน้ำหนักใหม่ จะได้

$$w_1 = \frac{si.I}{\dot{m}_1} = \frac{18.1875}{103.59} = 0.1755$$

$$w_2 = \frac{si.I}{\dot{m}_2} = \frac{18.1875}{83.23} = 0.2185$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่า ค่า m_1 m_2 W_1 และ W_2 ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณได้ครั้งแรก จึงเลือกใช้อัตราการไหลของสารขาออกจาก เอฟเฟคที่ 1, 2 และปริมาณไอน้ำที่ใช้

คำนวณหาค่าของอัตราการถ่ายโอนความร้อนจากสมการดังนี้

$$q_1 = 0. \Delta H_O^{vap} = 38.92 \times 2202.6 = 85725.192 \text{ kJ/h}$$

$$q_2 = (I - m_1) \Delta H_2^{vap} = (121.25 - 103.98) \times 2257.0 = 38978.39 \text{ kJ/h}$$

$$q_3 = (m_1 - m_2) \Delta H_3^{vap} = (103.98 - 83.62) \times 2308.8 = 47007.168 \text{ kJ/h}$$

หาพื้นที่ถ่ายโอนความร้อนของแต่ละเอฟเฟคได้จากสมการที่ 4.31 - 4.33

$$A_1 = \frac{q_1}{U_1 \times (T_0 - T_1)} = \frac{85725.192}{3400 \times (120 - 100)} = 1.26 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{q_2}{U_2 \times (T_1 - T_2)} = \frac{38978.39}{3400 \times (100 - 80)} = 0.57 \text{ m}^2$$

$$A_3 = \frac{q_3}{U_3 \times (T_2 - T_3)} = \frac{47007.168}{3400 \times (80 - 60)} = 0.69 \text{ m}^2$$

เนื่องจากพื้นที่ทั้งสามเอฟเฟคไม่เท่ากัน การคำนวณพื้นที่ถ่ายโอนความร้อนจึงใช้ค่าเฉลี่ย

$$A_{avg} = \frac{1.26 + 0.57 + 0.69}{3} = 0.84 \text{ m}^2$$

ปริมาณไอน้ำที่ใช้ในเครื่องระเหยแบบเอฟเฟคเดียว กับเครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟค พบว่าเครื่องระเหยแบบเอฟเฟคเดียว ใช้ปริมาณไอน้ำในการถ่ายโอนความร้อน เท่ากับ 76.57

kg/h

$$\text{ความประหยัดของระบบ 1 เอฟเฟค (Steam Economy)} = \frac{60.625}{76.57} = 0.7917 = 79.17 \%$$

เครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟค ใช้ปริมาณไอน้ำในการถ่ายโอนความร้อน เท่ากับ 38.92 kg/h

$$\text{ความประหยัดของระบบ 3 เอฟเฟค (Steam Economy)} = \frac{60.625}{38.92} = 1.558 = 155.80 \%$$

การคำนวณความประหยัดของทั้ง 2 แบบ รูปแบบการระเหยที่เหมาะสมเลือกใช้เป็นการปฏิบัติการผลหลายเชิง (Multiple Effect Operation) ซึ่งเป็นวิธีการใช้ไอน้ำให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีกว่า ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ไอน้ำและเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิต

จากการคำนวณสมดุลมวลของเครื่องระเหย ได้ปริมาณน้ำที่ต้องระเหยในหนึ่งชั่วโมง เท่ากับ 60.625 ลิตร จากการสำรวจพบว่าเครื่อง Evaporators แบบ 3 เอฟเฟคที่รองรับ และมีขนาดใกล้เคียง สามารถทำการระเหยน้ำออกได้ในอัตรา 100 ลิตร/ชั่วโมง

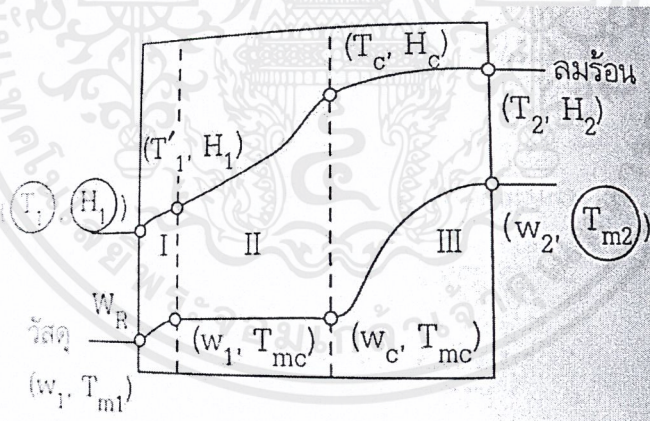
- หาปริมาณลมที่ใช้ในการทำแห้งของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ใช้หลักการออกแบบเครื่องทำแห้งด้วยลมร้อนแบบต่อเนื่อง (Tamon, H. & et. Al, 2548) โดยพิจารณาการจากสมดุลพลังงานระหว่างวัสดุและลมร้อน ได้ตั้งสมการที่ 4.41 ภายใต้เงื่อนไขของการอบแห้งที่คงที่ โดยลมร้อนที่ไหลเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีลักษณะการไหลแบบสวนทาง (Counter Flow) กับการเคลื่อนที่ของน้ำตาลมะพร้าว ดังรูปที่ 4.20

สมการดุลความชื้นระหว่างวัสดุและลมร้อน

$$Gi_1 - W_R(C + w_1 C_w)T_{m1} = Gi_2 - W_R(C + w_2 C_w)T_{m2} \quad (4.41)$$

เมื่อ	G	คือ อัตราการไหลของอากาศ (kg ของอากาศแห้ง/s)
	i_2, i_1	คือ เอนทัลปีของอากาศอุณหภูมิต่างเข้า ออก (kJ/kg dry air)
	W_R	คือ อัตราการป้อนวัตถุดิบที่ปราศจากน้ำ (kg/s)
	C	คือ ความร้อนจำเพาะของวัตถุดิบปราศจากน้ำ (kJ/kg K)
	C_w	คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg K)
	w	คือ อัตราส่วนความชื้น (kg ของไอน้ำ/kg ของของแข็ง)
	T_m	คือ อุณหภูมิของวัตถุดิบ (K)



รูปที่ 4.20 การไหลของลมร้อนสวนทางกับการไหลของวัตถุดิบ

ที่มา: Tamon, H. & et. Al (2548)

น้ำตาลมะพร้าวถูกป้อนเข้าสู่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อทำผลิตภัณฑ์ให้เป็นผง โดยลดอัตราส่วนความชื้นของวัตถุดิบจาก $w_1 = 0.023$ จนเหลือ $w_2 = 0.009$ kg ของไอน้ำ/kg ของของแข็ง อัตราการป้อนวัตถุดิบที่ปราศจากน้ำเข้าสู่เครื่องทำแห้ง (W_R) เท่ากับ 22.96 kg/h และมีอุณหภูมิวัตถุดิบขาเข้า (T_{m1}) และขาออก (T_{m2}) เท่ากับ 40, 70 °C ตามลำดับ ค่าความร้อนจำเพาะของวัตถุดิบปราศจากน้ำ (C) เท่ากับ 3.18 kJ/kg K และกำหนดค่าความร้อนของน้ำ (C_w) เท่ากับ 4.2 kJ/kg K อุณหภูมิลมร้อนที่ไหลเข้า (T_2) มี

ค่าเท่ากับ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิลมร้อนที่ไหลออก (T_1) มีค่าเท่ากับ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากข้อมูลดังกล่าวสามารถหาอัตราการไหลของอากาศได้จากสมการที่ 4.41

ค่าเอนทัลปีของอากาศค้นหาได้จาก

$$i = C_H(t - 273) + 2490H$$

เมื่อ C_H คือ ความร้อนจำเพาะขึ้นของอากาศ (kJ/kg-วัสดุปราศจากน้ำ K)

$$C_H = 1.00 + 1.93H$$

$$C_{H1} = 1.00 + 1.93(0.03)$$

$$C_{H1} = 1.058 \text{ kJ/kg.K}$$

$$C_{H2} = 1.00 + 1.93(0.003)$$

$$C_{H2} = 1.0058 \text{ kJ/kg.K}$$

ดังนั้น $i_1 = 1.058(373 - 273) + 2490(0.03)$

$$i_1 = 180.50 \text{ kJ/kg d. a.}$$

$$i_2 = 1.058(473 - 273) + 2490(0.003)$$

$$i_2 = 208.63 \text{ kJ/kg d. a.}$$

แทนค่า

$$G \times 180.50 - 0.0184(3.18 + 0.023 \times 4.2)313$$

$$= G \times 208.63 - 0.0184(3.18 + 0.009 \times 4.2)343$$

$$G = 51.2 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

∴ ปริมาณลมร้อนที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย 184.32 กิโลกรัมต่อ

ชั่วโมง

- หาปริมาณเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

สำหรับเครื่องกำเนิดไอน้ำ ในส่วนของพลังงานความร้อนที่เปลี่ยนไปเป็นงานนั้น จะต้องมีการสูญเสียบ้างไม่มากนัก และงานที่เกิดขึ้นจะต้องมีแหล่งแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนมากกว่าหนึ่งแหล่ง หรือต้องมีแหล่งให้และแหล่งรับ (วรวิทธิ์ และชาวน 2544) โดยความร้อนที่สูญเสียไปนั้นสามารถทำให้ทราบประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนของระบบได้ดังสมการที่ 4.42

$$\eta = \frac{\text{พลังงานที่ได้จากระบบ}}{\text{พลังงานที่ป้อนเข้าระบบ}}$$

$$\eta = \frac{O(h_s - h_w)}{M \times HHV} \quad (4.42)$$

เมื่อ O คือ อัตราการไหลของไอน้ำที่ได้ (l/s)

M คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (l/s)

h_s คือ เอนทัลปีของไอน้ำ (kJ/kg)

h_w คือ เอนทัลปีของน้ำ (kJ/kg)

HHV คือ ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาไหม้ (kJ/kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 4.42 สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เมื่อกำหนดให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (η) เท่ากับ 88% (Thai K. Boiler Co., Ltd., 2012) อุณหภูมิของน้ำขาเข้าเท่ากับ 25°C ค่าความดันของไอน้ำขาออกเท่ากับ 200 kPa ที่อุณหภูมิ 120°C มีค่าความร้อนสูง (HHV) ของเชื้อเพลิงที่ใช้ (น้ำมันดีเซล) เท่ากับ 45.7 MJ/kg (วริทธิ์ และชาญ 2544) และอัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้เท่ากับ 38.92 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่อัตราการผลิตไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่มีขนาดใกล้เคียงที่สุดคือ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จึงต้องใช้อัตราการผลิตที่ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมงในการคำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้

เปิดตารางที่ ก.9 และ ก.10 หาค่า Enthalpy

ค่า Enthalpy ของ steam ที่ความดัน 200 kPa อุณหภูมิ 120°C = 2706.7 (kJ/kg)

ค่า Enthalpy ของน้ำขาเข้า ที่อุณหภูมิ 25°C = 104.89 (kJ/kg)

จากสมการที่ 4.42 แทนค่า

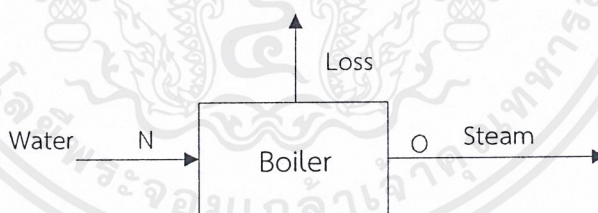
$$M = \frac{0.0278 \times (2706.7 - 104.89)}{0.88 \times 45.7 \times 10^3}$$

$$M = 1.80 \times 10^{-3} \text{ l/s}$$

$$M = 6.47 \text{ l/h}$$

\therefore ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ต้องใช้ทำไอน้ำ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เท่ากับ 6.47 ลิตรต่อชั่วโมง

เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler: H-2)



รูปที่ 4.21 การไหลเข้าของน้ำและไอน้ำที่ไหลออกผ่านเครื่องกำเนิดไอน้ำ

สมดุลมวลรวม (Total Mass Balance) ของเครื่องกำเนิดไอน้ำ เป็นดังต่อไปนี้

ผลรวมของมวลสารเข้าระบบ = ผลรวมของมวลสารออกจากระบบ

$$N = O + \text{Loss}$$

เมื่อ N คือ ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการผลิตไอน้ำ (kg)

O คือ ปริมาณไอน้ำ (kg)

Loss คือ ปริมาณไอน้ำที่สูญเสีย (0.12.O, kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

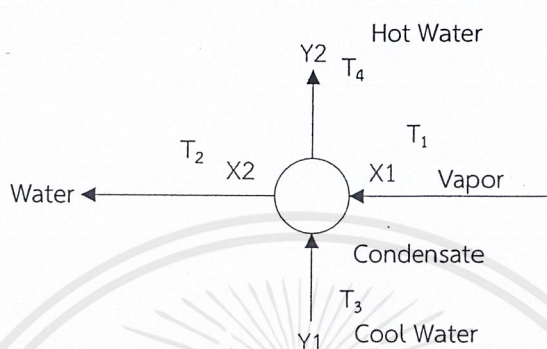
แทนค่า

$$N = 311.44 + 37.37$$

$$N = 348.81 \text{ kg}$$

∴ ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการผลิตไอน้ำ เท่ากับ 348.81 ลิตรต่อวัน

เครื่องควบแน่น (Condenser: H-3)



รูปที่ 4.22 การควบแน่นไอน้ำที่ออกจากเครื่องระเหย

หาปริมาณน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำร้อนที่ออกจากหม้อระเหย

สมดุลพลังงาน (Energy Balance) ของเครื่องควบแน่น เป็นดังต่อไปนี้

ผลรวมของพลังงานเข้าระบบ q_1 = ผลรวมของพลังงานออกจากระบบ q_2

$$XC_p(T_2 - T_1) = YC_w(T_4 - T_3)$$

- เมื่อ
- X คือ ปริมาณไอน้ำร้อนที่ออกจากหม้อระเหย (kg/s)
 - Y คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน (kg/s)
 - C_p คือ Specific Heat Capacity ของไอน้ำ (kJ/kg K)
 - C_w คือ Specific Heat Capacity ของน้ำ (kJ/kg K)
 - T_1 คือ อุณหภูมิของไอน้ำก่อนเข้าเครื่องควบแน่น (K)
 - T_2 คือ อุณหภูมิของไอน้ำออกจากเครื่องควบแน่น (K)
 - T_3 คือ อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าเครื่องควบแน่น (K)
 - T_4 คือ อุณหภูมิของน้ำออกจากเครื่องควบแน่น (K)

สามารถหาอัตราการถ่ายโอนความร้อนของไอน้ำได้จาก

$$q_1 = XC_p(T_2 - T_1)$$

แทนค่า

$$q_1 = 66.625 \times 4.2 \times (333 - 303)$$

$$q_1 = 8394.75 \text{ kJ/h} = 2.33 \text{ kJ/s}$$

และ

$$q_1 = UA\Delta T_{lm}$$

เมื่อ U คือ สัมประสิทธิ์ในการถ่ายโอนความร้อนทั้งหมด (W/m^2K)

A คือ พื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน (m^2)

ΔT_{lm} คือ Log Mean Temperature Difference

แทนค่าหาอุณหภูมิของน้ำออกที่จากเครื่องควบแน่น (T_4) เมื่อกำหนดให้สัมประสิทธิ์ในการถ่ายโอนความร้อนทั้งหมดเท่ากับสัมประสิทธิ์ในการถ่ายโอนความร้อนทั้งหมดของเครื่องระเหย ($3,400 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) และพื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับพื้นที่ที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟค (0.84 m^2)

$$2.33 = 3400 \times 0.84 \times \frac{(333-303)-(T_4-298)}{\ln\left(\frac{333-303}{T_4-298}\right)}$$

$$T_4 = 328 \text{ K} = 55^\circ\text{C}$$

ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการควบแน่นไอน้ำหาได้จาก

$$q_2 = YC_w(T_4 - T_3)$$

แทนค่า

$$2.33 = Y \times 4.2 \times (328 - 298)$$

$$Y = 0.018 \text{ kg/s} = 66.57 \text{ kg/h}$$

∴ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน เท่ากับ 66.57 ลิตรต่อชั่วโมง หรือ 532.57 ลิตรต่อวัน

สามารถสรุปการสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานเพื่อทราบอัตราการไหลของ Utilities ที่ใช้ในแต่ละหน่วยงานย่อยได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมดุลมวลและสมดุลพลังงานของUtilities ในแต่ละหน่วยงานย่อย

ประเภท ผลิตภัณฑ์	Utilities stream (kg/hr)					
	Cooling Tank 1	Cooling Tank 2, 3	Water Tank	Condenser	Boiler	Spray Dryer
Refrigerant	0.14 (kg/s) [Re1]	0.07 (kg/s) [Re2]				
Water			43.60 [Wt1]	66.57 [Wt2]		
Water Loss					4.67 [WL1]	
Steam					38.92 [St1]	
Fuel					6.47 [Fu1]	
Air						184.32 [Ai1]

4.2.2 การเลือกวัสดุ – อุปกรณ์ตามคุณสมบัติการใช้งาน

เป็นการเลือกใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ ตามข้อมูลที่มีอยู่เช่น อัตราการผลิตที่ต้องการผลิต โดยสามารถเลือกจาก Catalog, ตามเว็บไซต์ หรือจากตัวแทนจำหน่าย โดยจะต้องพิจารณาถึง หลักการทำงาน วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ ระบบควบคุมที่จำเป็น ความคลาดเคลื่อนการใช้งานที่ อนุญาต รวมทั้งข้อมูลพิเศษหรือรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์เฉพาะ

- เครื่องกรอง (Filter)

จากการคำนวณได้ปริมาณตะกอนที่ต้องกรองต่อหนึ่งชั่วโมงเท่ากับ 3.75 กิโลกรัม ซึ่งในการทำงานการผลิตหนึ่งวันจะมีปริมาณตะกอนสะสมที่เครื่องกรองเท่ากับ 30 กิโลกรัม พบว่าเครื่องกรองแบบอัดตะกอนที่มีขนาดใกล้เคียงที่สุดคือสามารถจุตะกอนได้ 60 กิโลกรัม

- เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spay Dryer)

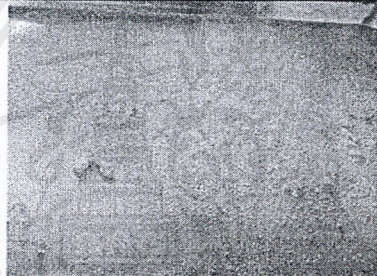

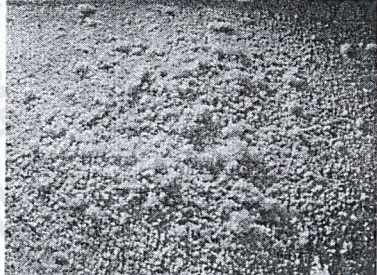
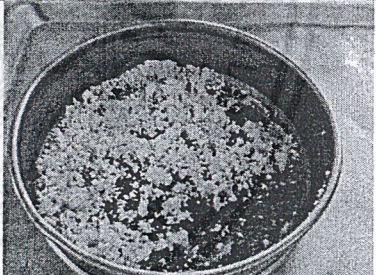

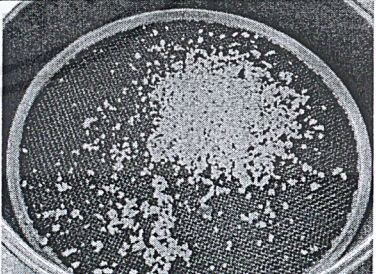
การทำน้ำตาลมะพร้าวผงในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยต้องระเหยน้ำออกในอัตรา 42.44 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งขนาดมาตรฐานที่มีตามตลาดคือ เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สามารถระเหยน้ำออกได้เท่ากับ 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

- เครื่องร่อนผง (Sifter)

เนื่องจากผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบฟุ้งฝอยมี 2 ขนาด แบ่งเป็นขนาดผงละเอียด และผงหยาบ ดังนั้นจึงต้องทำการคัดขนาด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดสม่ำเสมอ มีมาตรฐาน ซึ่งเป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการ ถ้าสินค้าที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ อาจส่งผลต่อการยอมรับสินค้าได้

จากการทดลองการคัดขนาด (Screen Analysis) โดยใช้ตะแกรงร่อนที่มีขนาดมาตรฐาน ซึ่งใช้ขนาด 30, 20 และ 16 mesh เพื่อดูลักษณะของผงน้ำตาลมะพร้าวที่ได้ดังแสดงตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การคัดขนาดน้ำตาลมะพร้าวผง

ขนาด (mesh)	ลักษณะของผงที่ร่อนได้	ลักษณะของผงที่อยู่บนตะแกรง
30		
20		
16		

สรุปผลการทดลอง ขนาดของผงที่ร่อนได้ดังตารางที่ 4.2 พบว่าระดับการร่อนที่ mesh 16 สามารถคัดแยกขนาดระหว่างผงละเอียดกับผงหยาบได้ดีแล้ว ดังนั้นจึงเลือกขนาดตะแกรงเบอร์ mesh 16 ใช้ในการร่อนผง

- เครื่องบรรจุ (Powder Filling Machine)

ใช้สำหรับบรรจุน้ำตาลมะพร้าวผงลงขวด วัสดุที่ใช้ประกอบเครื่องส่วนที่สัมผัสกับอาหารจะต้องใช้เป็นสแตนเลส เบอร์ 304 เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยา อันตรายกับตัวผลิตภัณฑ์
- เครื่องปิดฝาพอยล์

ใช้ซิลิโคนพอยล์บนขวด ซึ่งจะมีการเหนี่ยวนำไฟฟ้าเพื่อให้พลาสติกที่เคลือบฝาพอยล์ยึดติดกับตัวขวด วัสดุที่ใช้เป็นฝาพอยล์จะต้องมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและความชื้นได้ จากตารางที่ ก.11 พบว่าพลาสติกที่เหมาะสมคือชนิด Polyester, Polyethylene แบบความหนาแน่นสูง และ Polypropylene
- ภาชนะบรรจุ

วัสดุที่เลือกใช้สำหรับผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง ซึ่งเป็นอาหารแห้งที่ได้ถูกกำจัดน้ำออกไป การบรรจุอาหารแห้งจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

 - ป้องกันอาหารจากความชื้น โดยใช้ภาชนะบรรจุซึ่งไม่ยอมให้น้ำในรูปของไอน้ำและของเหลวซึมผ่านได้ เพราะหากปริมาณความชื้นในอาหารแห้งเพิ่มขึ้น จะเกิดความเสื่อมเสียทั้งกายภาพโดยอาหารแห้งจะเปียกชื้นจับกันเป็นก้อน ทางเคมีโดยเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในอาหารเร็วขึ้น เช่นการเหม็นหืน การเกิดสีน้ำตาล และทางชีวภาพโดยการเกิดราขึ้นได้
 - พยายามกำจัดออกซิเจนออกจากภาชนะบรรจุ ภายในอาหารแห้งปฏิกิริยาเคมียังดำเนินไปช้า ๆ ทำให้สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสของอาหารแห้งเปลี่ยนไปหากภายในภาชนะบรรจุมีออกซิเจนอยู่ ปฏิกิริยาเคมีในอาหารแห้งจะเกิดเร็วขึ้น และอายุการเก็บรักษาของอาหารนั้นจะสั้นลง
 - เนื้ออาหารแห้งมักจะแข็ง เพราะ แดงง่าย ดังนั้นภาชนะที่ใช้ควรจะต้องมีความแข็งแรงพอควร และทนทานต่อการกดหรือเสียดสีกับอาหารแห้งโดยภาชนะบรรจุไม่เสียหาย

สามารถแบ่งประเภทภาชนะบรรจุที่ใช้ได้ ดังนี้

- กล่องกระดาษแข็งซึ่งห่อด้านนอกด้วยกระดาษเคลือบโซหรืออลูมิเนียมพอยล์ เช่น กล่องใส่ลูกเกดแห้ง ภายในกล่องกระดาษ อาจมีถุงพลาสติกบรรจุอาหารแห้งอีกทีหนึ่ง เช่น เยลลี่ผง
- ถุงพลาสติก ขวดพลาสติก ซึ่งพิจารณาจากอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และออกซิเจน ดังตารางที่ ก.11 พบว่าชนิดพลาสติกที่เหมาะสมได้แก่

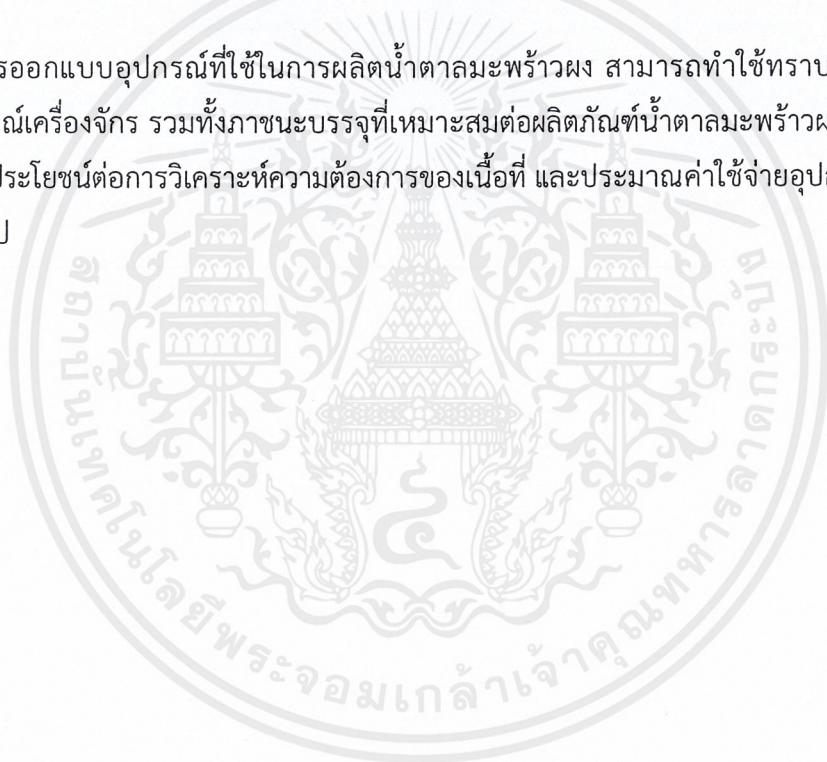
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polyester, Polyethylene แบบความหนาแน่นสูง, Polypropylene หรือ Laminated film เช่นถุงใส่เครื่องตีผสม มักรโรนีนแห้ง เป็นต้น

- ภาชนะหรือกล่องทำจากแผ่นพลาสติก เช่น Polyethylene หรือ Polystyrene เช่น ถ้วยใส่ผลไม้แห้งระดับหน้าเค้ก
- ครอบป้องกันเคลือบติบุง เช่น ครอบใส่ลูกพรุนแห้ง นมผง ใบชา
- ขวดแก้ว เช่น ขวดกาแฟผง

ประเภทภาชนะบรรจุที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง พบว่าขวดที่ทำจากพลาสติกมีความเหมาะสมต่อการนำมาทำเป็นภาชนะบรรจุ เนื่องจากพลาสติกในปัจจุบันได้มีการทำเลียนแบบกระป๋องหรือขวดแก้ว ให้มีความสวยงาม และสะดวกในการใช้งานเหมือนกัน ข้อดีในการใช้ขวดที่ทำจากพลาสติกคือ มีน้ำหนักเบา และราคาต้นทุนที่ต่ำ

จากการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง สามารถใช้ทราบขนาด และจำนวนอุปกรณ์เครื่องจักร รวมทั้งภาชนะบรรจุที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ความต้องการของเนื้อที่ และประมาณค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ที่จัดซื้อได้ในบทต่อไป



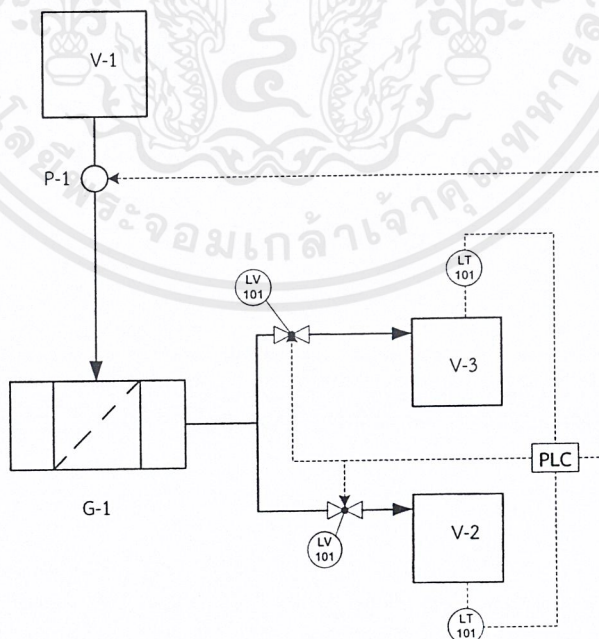
บทที่ 5

การออกแบบระบบการควบคุม

5.1 ระบบควบคุมกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง

ระบบเครื่องมือวัดและควบคุมกระบวนการผลิต (Instrumentation and Control System) เป็นส่วนหนึ่งที่ต้องจัดเตรียมเพื่อทำการแสดงค่าและควบคุมตัวแปรทางกระบวนการต่าง ๆ ให้อยู่ในค่าที่ต้องการและเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติตามที่กำหนด โดยสามารถแบ่งการควบคุมกระบวนการออกตามหน่วยงานย่อยได้ทั้งหมด 5 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ใช้ระบบควบคุมแบบ PLC Controller สำหรับควบคุมการเปิด - ปิด มอเตอร์ปั๊ม และวาล์ว (On - Off Motor Pump and Valve) เพื่อลำเลียงน้ำตาลมะพร้าวสดออกจาก Cooling Tank 1 โดยภายในถังจะมีชุดวัดระดับของเหลว ตัววัดระดับ (Sensor) มีให้เลือกหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการใช้งาน เช่น แบบลูกลอย แบบอิเล็กทรอนิกส์ แบบอาศัยความดัน แบบคลื่นเสียง แบบชั่งน้ำหนัก เป็นต้น ทำหน้าที่วัดระดับของเหลวภายในถัง โดยตัววัดระดับที่สัมผัสกับอาหาร จะต้องใช้วัสดุที่ทำมาจากสแตนเลส เบอร์ 304 เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับอาหาร เมื่อตัววัดระดับตรวจพบของเหลวภายในถังทั้งหมด จะส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุม (Controller) เพื่อสั่งให้มอเตอร์ปั๊มหยุดทำงาน



รูปที่ 5.1 ระบบควบคุมระดับของเหลวในถังทำความเย็นที่ 2 และ 3 (V-2, V-3)

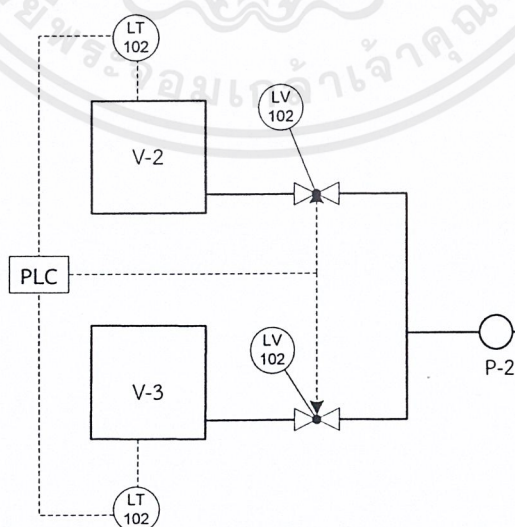
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เริ่มทำงานเปิดมอเตอร์ปั๊มทำงานเพื่อป้อนน้ำตาลมะพร้าวสดจาก Cooling Tank 1 ไปยังเครื่องกรอง พร้อมกับเปิดวาล์วทางเข้าของ Cooling Tank 2 เพื่อให้น้ำตาลมะพร้าวใสที่ไหลออกจากเครื่องกรองมาเก็บไว้ที่ถัง
- ตัววัดระดับของเหลวใน Cooling Tank 2 ตรวจสอบว่าระดับน้ำตาลมะพร้าวใสในถังถึงระดับที่ต้องการแล้ว จึงทำการปิดวาล์วท่อทางเข้าของ Cooling Tank 2 เปิดท่อทางเข้าของ Cooling Tank 3 เพื่อป้อนน้ำตาลมะพร้าวใสที่ออกจากเครื่องกรองเข้า Cooling Tank 3
- เมื่อตัววัดระดับของเหลวตรวจสอบว่าระดับของน้ำตาลมะพร้าวใสอยู่ในระดับที่ต้องการ จึงส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุม ควบคุมให้วาล์วท่อทางเข้าปิดของ Cooling Tank 3 และสั่งปิดการทำงานของมอเตอร์ปั๊ม

ตารางที่ 5.1 ลำดับการเปิด - ปิดมอเตอร์ปั๊มของ Cooling tank 1 และเปิด - ปิดวาล์วทางเข้าของ Cooling Tank 2, Cooling Tank 3 เพื่อลำเลียงสาร

ขั้นตอนการทำงาน	Cooling tank 1	Cooling tank 2	Cooling tank 3
	Out	In	In
1	เปิด	เปิด	ปิด
2	เปิด	ปิด	เปิด
3	ปิด	ปิด	ปิด

ส่วนที่ 2 ควบคุมการป้อนน้ำตาลมะพร้าวจาก Cooling Tank 2 และ Cooling Tank 3 เข้าเครื่องทำระเหย โดยใช้หลักการควบคุมแบบเปิด - ปิด วาล์ว (On - Off Valve)



รูปที่ 5.2 ระบบควบคุมการป้อนของเหลวออกจากถังทำความเย็นที่ 2 และ 3 (V-2, V-3)

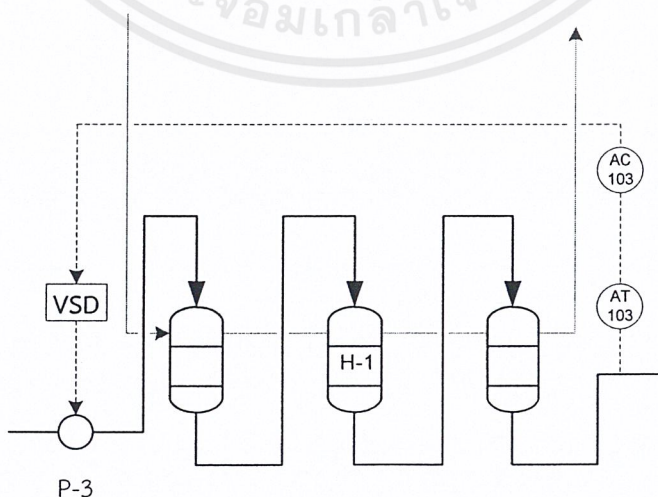
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อระดับของเหลวในถัง Cooling Tank 2 อยู่ในระดับประมาณ 0.88 เมตร ของระดับความสูงของถัง ตัววัดระดับทำหน้าที่วัด และส่งสัญญาณไปควบคุม วาล์วทางออกของ Cooling Tank 2 เปิด เพื่อป้อนน้ำตาลมะพร้าวใส่เข้าเครื่อง ทำระเหย
- ระดับน้ำตาลมะพร้าวใส่ใน Cooling Tank 2 หมดยก ส่งสัญญาณควบคุมวาล์ว ทางออกปิด ของ Cooling Tank 2 และสั่งให้วาล์วทางออกเปิด ของ Cooling Tank 3
- ทำการป้อนน้ำตาลมะพร้าวใส่จากถังทำความเย็นไปยังเครื่องทำระเหยจนหมด ถังสองถัง จึงทำการปิดวาล์วทางออกของ Cooling Tank 3

ตารางที่ 5.2 ลำดับการเปิด - ปิดวาล์วทางออกของ Cooling Tank 2, 3 เพื่อลำเลียงสาร

ขั้นตอนการทำงาน	Cooling tank 2	Cooling tank 3
	Out	Out
1	เปิด	ปิด
2	ปิด	เปิด
3	ปิด	ปิด

ส่วนที่ 3 ควบคุมเครื่องระเหย แบบ 3 เอฟเฟค เซนเซอร์ที่ใช้วัสดุเป็นสแตนเลส วิเคราะห์ค่า ความความเข้มข้นของน้ำตาลมะพร้าว โดยควบคุมน้ำตาลมะพร้าวที่ออกจากเครื่อง ระเหยให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 30 BRIX แปลงสัญญาณไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Analysis Transmitter) แล้วส่งสัญญาณไปยังตัววิเคราะห์ควบคุม (Analysis Controller) เพื่อไปปรับแต่งความเร็วรอบของมอเตอร์บีบ (P-3) ควบคุมอัตราการ ไหลของน้ำตาลมะพร้าวก่อนเข้าเครื่องระเหย

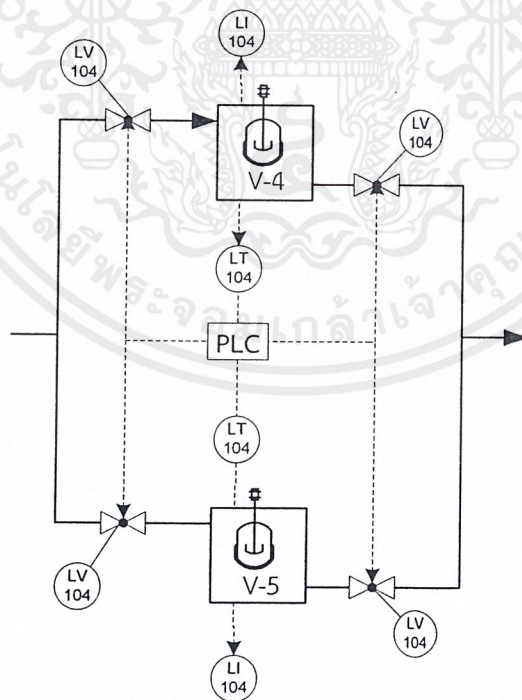


รูปที่ 5.3 ระบบควบคุมของเครื่องระเหยแบบ 3 เอฟเฟค (H-1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 4 ควบคุมเปิด - ปิด วาล์วเพื่อลำเลียงสารเข้าออกของถังกวนสารที่ 1 และ 2 โดยภายในถังจะมีตัววัดระดับ (Sensor) ทำหน้าที่วัดระดับของเหลวภายในถัง เมื่อตรวจพบของเหลวภายในถังหมด จะส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุม (Controller) เพื่อสั่งปิดวาล์วท่อทางเข้า

- เปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังกวนสารที่ 1 เพื่อให้ น้ำตาลมะพร้าวเข้มข้นไหลเข้าถึง
- เมื่อตัววัดระดับตรวจพบว่าปริมาณน้ำตาลมะพร้าวเข้มข้นในถังกวนสารที่ 1 ถึงระดับที่ต้องการ จึงทำการปิดวาล์วท่อทางเข้า บอกลักษณะเตือนให้พนักงานทำหน้าที่ผสมสารเจือปน โดยจะใช้ระยะเวลาประมาณหนึ่ง (Delay Time) ถึงจะเปิดวาล์วท่อทางออกของถังกวนสารที่ 1 เพื่อให้ น้ำตาลมะพร้าวไหลไปยังเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และเปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังกวนสารที่ 2
- เมื่อตัววัดระดับตรวจพบว่าปริมาณน้ำตาลมะพร้าวเข้มข้นในถังกวนสารที่ 2 ถึงระดับที่ต้องการ จึงทำการปิดวาล์วท่อทางเข้า บอกลักษณะเตือนให้พนักงานทำหน้าที่ผสมสารเจือปน โดยจะใช้ระยะเวลาประมาณหนึ่ง ถึงจะเปิดวาล์วท่อทางออกของถังกวนสารที่ 2 เพื่อให้ น้ำตาลมะพร้าวไหลไปยังเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และกลับไปเปิดวาล์วท่อทางเข้าของถังกวนสารที่ 1 ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ระบบควบคุมการเข้า - ออกของเหลวของถังกวนสารที่ 1 และ 2 (V-4, V-5)

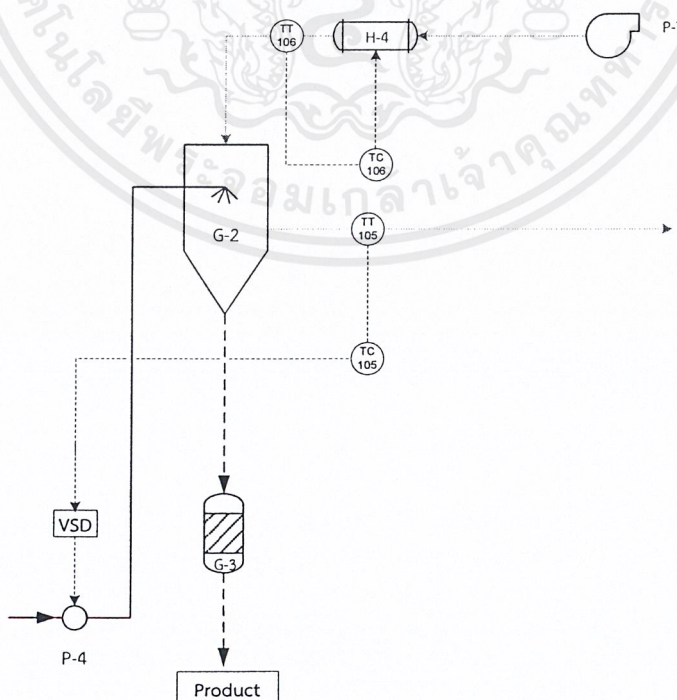
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ลำดับการเปิด - ปิดวาล์วเข้าออกเพื่อลำเลียงสารของMixing Tank 1, Tank 2

ขั้นตอนการทำงาน	Mixing tank 1		Mixing tank 2	
	In	Out	In	Out
1	เปิด	ปิด	ปิด	ปิด
2	ปิด	เปิด	เปิด	ปิด
3	เปิด	ปิด	ปิด	เปิด

ส่วนที่ 5 ควบคุมเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย สามารถแบ่งการควบคุมออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

- การควบคุมอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ทำแห้ง อากาศภายนอกไหลเข้าเครื่องทำลมร้อน (H-4) โดยมี Temperature sensor ตรวจวัดอุณหภูมิของลมร้อนที่ไหลเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย แล้วส่งสัญญาณผ่านไปยัง Temperature Transmitter เพื่อแปลงอุณหภูมิที่ทราบค่าไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งสัญญาณไปยังตัวปรับฮีเตอร์ เพื่อปรับค่าอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง
- การควบคุมอุณหภูมิลมร้อนขาออกจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยมี Temperature sensor ตรวจวัดอุณหภูมิของลมร้อนที่ออกจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย แล้วส่งสัญญาณผ่านไปยัง Temperature Transmitter เพื่อแปลงอุณหภูมิที่ทราบค่าไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่งสัญญาณไปยังตัวปรับความเร็วรอบของมอเตอร์บีบปั๊ม เพื่อไปปรับความเร็วรอบของมอเตอร์บีบน้ำตาลมะพร้าวเข้าเครื่องทำแห้ง (P-4)



รูปที่ 5.5 ระบบควบคุมของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (G-2)

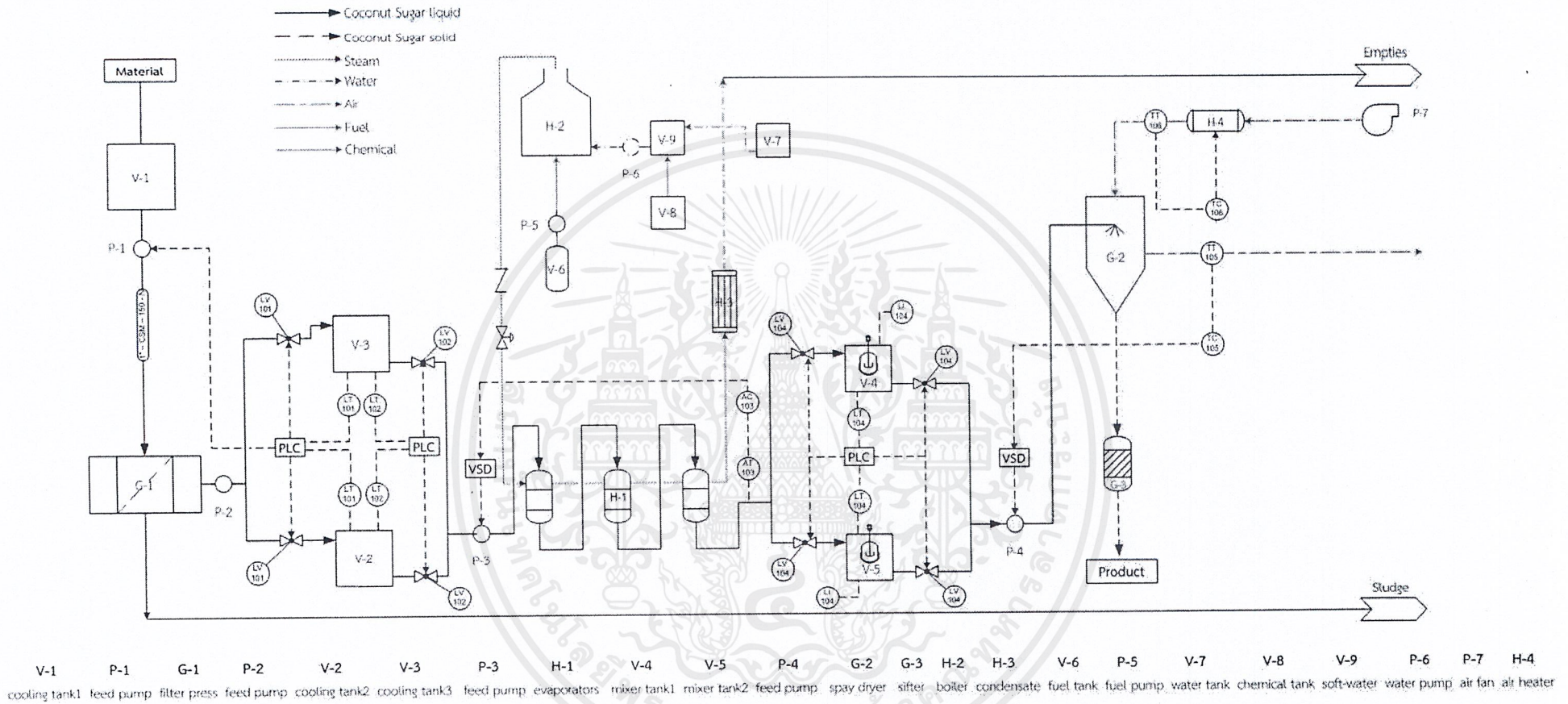
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการออกแบบระบบควบคุมกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงทั้ง 5 ส่วนสามารถจำแนกรายการ ตัวแปรขาเข้า อุปกรณ์ตรวจวัด ตัวแปรควบคุม และอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายของแต่ละหน่วยงานได้ดังตารางที่ 5.4 และแสดงเป็นแผนภาพการควบคุมการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงทั้งกระบวนการได้ดังรูปที่ 5.7

ตารางที่ 5.4 รายการอุปกรณ์ และการควบคุมของแต่ละหน่วยงาน

หน่วยงาน	ตัวแปรขาเข้า	อุปกรณ์ตรวจวัด	ตัวแปรปรับแต่ง	อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย
ส่วนที่1	- ระดับของเหลวของถังทำความเย็นที่ 2 และ 3	- Capacitance Level Sensor	- อัตราการไหลของ น้ำ ตาลมะพร้าวใส	- ป้อนเปิด - ปิด (P-1) - วาล์วทางเข้าของถังทำความเย็นที่ 2 - วาล์วทางเข้าของถังทำความเย็นที่ 3
ส่วนที่2	- ระดับของเหลวของถังทำความเย็นที่ 2 และ 3	- Capacitance Level Sensor	- อัตราการไหลของ น้ำ ตาลมะพร้าวใส	- วาล์วทางออกของถังทำความเย็นที่ 2 - วาล์วทางออกของถังทำความเย็นที่ 3
ส่วนที่3	- ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลมะพร้าว	- BRIX Sensor	- อัตราการไหลของ น้ำ ตาลมะพร้าวก่อนเข้าเครื่องระเหย	- มอเตอร์ป้อน (P-3)
ส่วนที่4	- ระดับของเหลวของถังกวนสารที่ 1 และ 2	- Capacitance Level Sensor	- อัตราการไหลของ น้ำ ตาลมะพร้าวเข้มข้น	- วาล์วทางเข้า - ออกของถังกวนสารที่ 1 - วาล์วทางเข้า - ออกของถังกวนสารที่ 2
ส่วนที่5	- อุณหภูมิของลมร้อนก่อนเข้าเครื่องทำแห้ง - อุณหภูมิของลมร้อนที่ออกจากเครื่องทำแห้ง	- Temperature Sensor - Temperature Sensor	- ปริมาณความร้อน - อัตราการไหลของ น้ำ ตาลมะพร้าวเข้มข้นขาเข้าเครื่องทำแห้ง	- ฮีตเตอร์ - มอเตอร์ป้อนน้ำตาลมะพร้าวเข้าเครื่องทำแห้ง (P-4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แผนภาพระบบท่อและอุปกรณ์เครื่องมือวัด (PI&D) ของกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง

บทที่ 6

การวางผังโรงงาน

6.1 รายละเอียดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง

จากการออกแบบและคำนวณขนาดเครื่องจักร และอุปกรณ์ ทำให้ทราบรายละเอียดและจำนวนของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง โดยสามารถแสดงรายชื่ออุปกรณ์ เครื่องจักรที่ได้จากตัวแทนจำหน่ายของแต่ละอุปกรณ์ ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 รายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง

ชนิดอุปกรณ์	รายละเอียด
ถังทำความเย็น ความจุ 1,000 ลิตร	Stainless Steel AISI 304 จำนวน 1 ใบ ความหนาถึงชั้นใน 1.5 mm D=1000 mm H=1500 mm ใบกวนมีความเร็วรอบ 21 rpm กำลังมอเตอร์ 0.75 kW Condensers ลดอุณหภูมิในถัง 4 °C ใช้สารทำความเย็น R-22 กำลังคอมเพรสเซอร์ 2.48 kW ขนาดเครื่อง 1000 x 1800 x 1725 mm
ถังทำความเย็นพักวัตถุดิบ ความจุ 500 ลิตร	Stainless Steel AISI 304 จำนวน 2 ใบ ความหนาถึงชั้นใน 1.5 mm D=840 mm H=1000 mm ใบกวนมีความเร็วรอบ 21 rpm กำลังมอเตอร์ 0.37 kW Condensers ลดอุณหภูมิในถัง 4 °C ใช้สารทำความเย็น R-22 กำลังคอมเพรสเซอร์ 1.60 kW ขนาดเครื่อง 840 x 1650 x 1550 mm
ถังกวนสาร ความจุ 100 ลิตร	Stainless Steel AISI 304 จำนวน 2 ใบ ความหนาถึง 1.00 mm D=400 mm H=1000 mm กำลังมอเตอร์ 1 HP ใบกวนมีความเร็วรอบ 750 rpm ขนาดเครื่อง 600 x 600 x 1700 mm
ปั๊มแบบหอยโข่ง	Stainless Steel AISI 304 จำนวน 1 เครื่อง กำลัง 0.37 HP เฮด 12 เมตร อัตราการสูบ 1 m ³ /h
ท่อ, ข้อต่อโค้ง 90	Stainless Steel AISI 304 ขนาด 1 นิ้ว
เครื่องกรองแบบอัด ตะกอน	จำนวน 1 เครื่อง ความจุจากตะกอน 60 ลิตร แรงดันที่ใช้ 10 MPa ขนาดแผ่นกรอง 470 x 470 mm จำนวนแผ่นกรอง 15 แผ่น พื้นที่ผิวการกรอง 0.3 m ² ทำงานแบบ Semi - Automatic Closing ขนาดเครื่อง 1000 x 1600 x 1200 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 รายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง (ต่อ)

เครื่องระเหยแบบฟิล์มไหลลงแบบ 3 เอฟเฟค	Stainless Steel AISI 304 จำนวน 1 เครื่อง และประกอบด้วย Vacuum Pump, Centrifuge Pump อัตราการระเหยน้ำ 100 ลิตร/ชั่วโมง ขนาดเครื่อง 1200 x 4000 x 2800 mm
เครื่องกำเนิดไอน้ำ	จำนวน 1 ชุด ประกอบด้วย ถังคอนเดนเสท (Condensate Tank), เครื่องกรองน้ำอ่อน, ชุดเติมน้ำยาเคมี, ถังเก็บน้ำมันดีเซล (Diesel Oil Tank), ป้องควันไอเสีย อัตราการผลิตไอน้ำ 100 kg/h ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล 7.3 L/h Efficiency 88% แรงดันไอน้ำ 1 MPa กำลังเครื่อง 4.77 kW ขนาดเครื่อง 800 x 1000 x 1700 mm
เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	Stainless Steel AISI 316L, 304 จำนวน 1 เครื่อง อัตราการระเหยน้ำ 50 ลิตร/ชั่วโมง อุณหภูมิความร้อนสามารถปรับได้ 40 -350 °C ความคลาดเคลื่อน 1 องศา หัวฉีด แบบ Two - Fluid Nozzle ปั๊มส่ง Peristaltic Pump หรือ Mono Pump ควบคุมอุณหภูมิความร้อนขาออก ไซโคลน สำหรับแยกผง พร้อมวาล์วปีกผีเสื้อ พัดลม 4.0 kW., 380 V., 3 เฟส, 50 Hz., พร้อม Inverter ปรับรอบ กำลังไฟฟ้า 70 kW., 380 V., 50 Hz., 3 เฟส ขนาดเครื่อง 2800 x 4500 x 5100 mm
เครื่องร้อนผง	Stainless Steel AISI 304 จำนวน 1 เครื่อง ความสามารถในการร้อน 20-100 Kgs ขนาดตะแกรงที่ใช้ร้อน 4-300 mesh กำลังของมอเตอร์ 1.5 HP ความเร็วรอบ 1440 RPM กำลังไฟฟ้า 1.2 kW ขนาดเครื่อง 1000 x 1000 x 1100 mm
เครื่องบรรจุผง	จำนวน 1 เครื่อง ความสามารถ 500-1000ml ความเร็วในการบรรจุ 25Times/min แหล่งจ่ายไฟ 220 V/ 50Hz ขนาดเครื่อง 500 x 650 x 1800 mm
เครื่องปิดฝาพอยล์	จำนวน 1 เครื่อง ความสามารถ 0-50 pcs/min เส้นผ่าศูนย์กลางของขวด ϕ 60-130m แหล่งจ่ายไฟ 110V 220V/ 50-60Hz กำลังไฟฟ้า 600 W ขนาดเครื่อง 340 x 290 x 150 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

เป็นการศึกษาหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต เป็นการรวบรวมหน้าที่หลัก และความสัมพันธ์กับหน่วยงานอื่นของหน่วยงานทั้งหมด ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตทั้งหมดภายในโรงงาน ซึ่งหน่วยงานทั้งหมดได้แก่

1. แผนกเก็บน้ำตาลมะพร้าวสด
2. แผนกการผลิต
3. แผนกหม้อไอน้ำ
4. แผนกบรรจุ
5. แผนกตรวจสอบคุณภาพ
6. แผนกเก็บน้ำตาลมะพร้าวผง
7. แผนกเก็บวัสดุ
8. ห้องลือกเกอร์
9. ห้องสุขา
10. แผนกซ่อมบำรุง
11. สำนักงาน

หลังจากได้ข้อมูลข้างต้น ขั้นตอนต่อไปทำการสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ของกิจกรรม ซึ่งได้มีการแบ่งกิจกรรมออกเป็นหน่วยการผลิตและหน่วยสนับสนุนการผลิต พร้อมทั้งให้คะแนนระดับความสัมพันธ์ ของคู่กิจกรรมแต่ละคู่เพื่อให้ทราบว่าหน่วยใดควรอยู่ใกล้กันเพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ของวัสดุให้น้อยลง โดยสามารถสรุปได้ดัง รูปที่ 6.1 เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการวางผังโรงงาน ขึ้นต่อไป

ตารางที่ 6.2 แสดงผลระดับของความสัมพันธ์

No.	ระดับความสัมพันธ์			
	A	E	I	O
1	1-2	2-5	1-5	1-11
2	2-3	2-7	1-12	5-7
3	2-4	2-10	4-6	5-8
4	4-5	2-11	4-10	5-9
5	4-7	8-9	6-7	5-12
6	5-6		8-11	7-8
7			9-11	8-12
8			9-12	11-12

ตารางที่ 6.3 แสดงเหตุผลของความสัมพันธ์ระหว่างแผนกที่มีความสัมพันธ์ระดับ A

แผนก	ชื่อหน่วยงาน	เหตุผลของความสัมพันธ์
1-2	1.แผนกเก็บน้ำตาลมะพร้าวสด 2.แผนกการผลิต	เป็นที่สำหรับเก็บวัตถุดิบก่อนที่จะส่งเข้าสู่แผนกการผลิต
2-3	2.แผนกการผลิต 3.แผนกหม้อไอน้ำ	แผนกหม้อกำเนิดไอน้ำเป็นแหล่งกำเนิดไอน้ำให้กับหน่วยชุดหม้อต้มที่อยู่ในแผนกการผลิต
2-4	2.แผนกการผลิต 4.แผนกบรรจุ	จากแผนกการผลิตทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนต่อมาจึงต้องทำการบรรจุเพื่อเก็บรักษา
4-5	4.แผนกบรรจุ 5.แผนกตรวจสอบคุณภาพ	เป็นขั้นตอนตรวจสอบผลิตภัณฑ์ก่อนส่งออกให้กับผู้บริโภค
4-7	4.แผนกบรรจุ 7.ห้องเก็บพัสดุ	แผนกบรรจุกับห้องเก็บพัสดุควรอยู่ใกล้กัน เนื่องจากจะได้มีความสะดวกต่อการเบิกพัสดุ
5-6	5.แผนกตรวจสอบคุณภาพ 6.แผนกเก็บน้ำตาลมะพร้าวผง	ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบเสร็จเรียบร้อยแล้วเข้าสู่ห้องเก็บผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 แสดงเหตุผลของความสัมพันธ์ระหว่างแผนกที่มีความสัมพันธ์ระดับ E

แผนก	ชื่อหน่วยงาน	เหตุผลของความสำคัญ
2-5	2.แผนกการผลิต 5.แผนกตรวจสอบคุณภาพ	ทำการตรวจสอบคุณภาพในแต่ละหน่วยงานของฝ่ายการผลิต
2-7	2.แผนกการผลิต 7.ห้องเก็บพัสดุ	สะดวกต่อการหยิบวัสดุเพื่อนำมาใช้ในแผนกการผลิต
2-10	2.แผนกการผลิต 10.แผนกเก็บอุปกรณ์	สะดวก ง่ายต่อการหยิบใช้
2-11	2.แผนกการผลิต 11.แผนกซ่อมบำรุง	ควรอยู่ใกล้กัน เพื่อง่ายต่อการติดต่อเมื่ออุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตเกิดปัญหา
8-9	8.ห้องล็อกเกอร์ 9.ห้องสุขา	พนักงานเกิดความสะดวกต่อการใช้ห้องสุขา

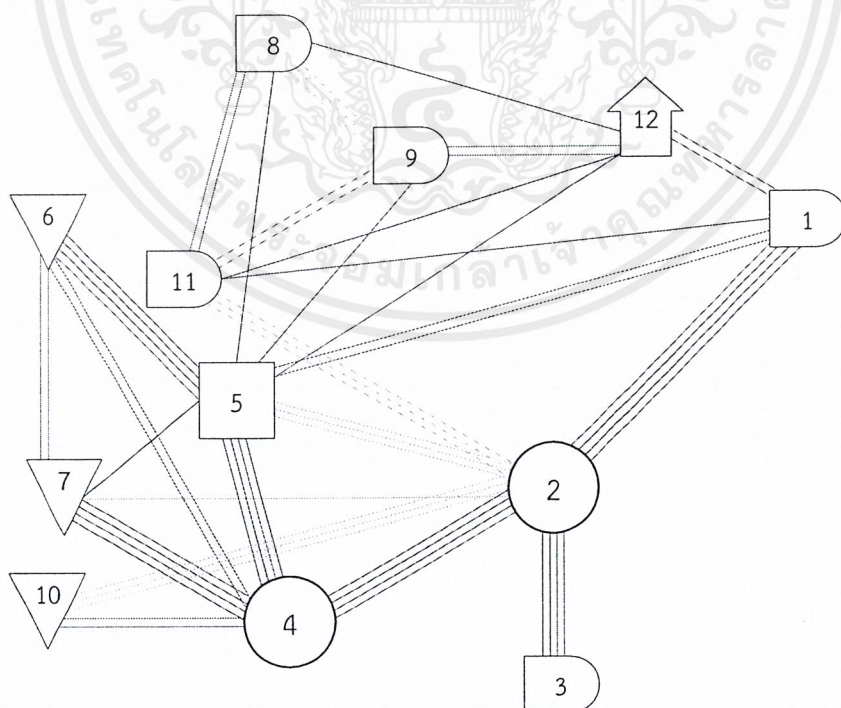
ตารางที่ 6.5 แสดงเหตุผลของความสัมพันธ์ระหว่างแผนกที่มีความสัมพันธ์ระดับ I

แผนก	ชื่อหน่วยงาน	เหตุผลของความสำคัญ
1-5	1.แผนกเก็บน้ำตาลมะพร้าวสด 5.แผนกตรวจสอบคุณภาพ	ตรวจสอบคุณภาพตอนรับน้ำตาลมะพร้าวสดจาก Supplier
1-12	1.แผนกเก็บน้ำตาลมะพร้าวสด 12.สำนักงาน	ง่ายต่อการติดต่อการผู้ที่มาส่งน้ำตาลมะพร้าวสด
4-6	4.แผนกบรรจุ 6.แผนกเก็บน้ำตาลมะพร้าวผง	ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ไปเก็บไว้ที่เก็บสินค้า
4-10	4.แผนกบรรจุ 10.แผนกเก็บอุปกรณ์	สะดวก ง่ายต่อการหยิบใช้ชิ้นส่วนอุปกรณ์เพื่อทำการประกอบใช้งาน
6-7	6.แผนกเก็บน้ำตาลมะพร้าวผง 7.ห้องเก็บพัสดุ	ง่ายต่อการประสานงาน ตรวจสอบสินค้าและผลิตภัณฑ์
8-11	8.ห้องล็อกเกอร์ 11.แผนกซ่อมบำรุง	สะดวกต่อการเข้า - ออกโรงงานผลิต
9-11	9.ห้องสุขา 11.แผนกซ่อมบำรุง	สะดวกต่อการใช้ห้องสุขา
9-12	9.ห้องสุขา 12.สำนักงาน	สะดวกต่อการใช้ห้องสุขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 แสดงเหตุผลของความสัมพันธ์ระหว่างแผนกที่มีความสัมพันธ์ระดับ 0

แผนก	ชื่อหน่วยงาน	เหตุผลของความสำคัญ
1-11	1.แผนกเก็บน้ำตาลมะพร้าวสด 11.แผนกซ่อมบำรุง	ซ่อมอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรที่ใช้เก็บน้ำตาลมะพร้าวสดเมื่อเกิดปัญหา
5-7	5.แผนกตรวจสอบคุณภาพ 7.ห้องเก็บพัสดุ	ตรวจสอบพัสดุที่รับเข้า และตรวจสอบตอนเบิกนำไปใช้ในแต่ละแผนก
5-8	5.แผนกตรวจสอบคุณภาพ 8.ห้องลือกเกอร์	สะดวกต่อการเข้า - ออกโรงงานผลิต
5-9	5.แผนกตรวจสอบคุณภาพ 9.ห้องสุขา	สะดวกต่อการใช้ห้องสุขา
5-12	5.แผนกตรวจสอบคุณภาพ 12.สำนักงาน	สะดวกต่อการติดต่อประสานงาน
7-8	7.ห้องเก็บพัสดุ 8.ห้องลือกเกอร์	ใช้ห้องลือกเกอร์เป็นทางผ่านสำหรับรับพัสดุเข้าเก็บห้องเก็บพัสดุ
8-12	8.ห้องลือกเกอร์ 12.สำนักงาน	สะดวกต่อการเข้า - ออกโรงงานผลิต
11-12	11.แผนกซ่อมบำรุง 12.สำนักงาน	สะดวกต่อการติดต่อประสานงาน



รูปที่ 6.2 แผนภาพความสัมพันธ์ของแต่ละหน่วยงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การวิเคราะห์ความต้องการเนื้อที่

จากวิธีที่ใช้ในการคิดพื้นที่ที่มีทั้งหมด 5 วิธีได้เลือกวิธีคิดจากเนื้อที่มาตรฐาน โดยแบ่งขั้นตอนการประเมินเนื้อที่ที่ต้องการออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ใช้วิธีคิดจากเนื้อที่มาตรฐาน (Space-Standards Method) ข้อมูลพื้นที่ได้จากคู่มืออุปกรณ์ เครื่องจักร แต่ละชนิดมาประเมิน คำนวณหาพื้นที่ที่ต้องการใช้งานได้ดังตารางที่ 6.7 และส่วนที่สองใช้ข้อมูลอ้างอิงการจัดพื้นที่ตามมาตรฐานของแต่ละแผนกดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.7 ความต้องการของเนื้อที่ของหน่วยการผลิต

เครื่องมือ	จำนวน (A)	ขนาด (เมตร)		พื้นที่อุปกรณ์ (ตารางเมตร)			พื้นที่สนับสนุนการผลิต		ทางเดิน 30% G=Dx30%	รวม (ตารางเมตร) D+F+G
		กว้าง (X)	ยาว (Y)	เครื่องจักร (B=AxXxY)	คน (C=AxXx0.8)	รวม D=B+C	%เผื่อ (E)	พื้นที่ F=DxE/100		
ถังทำความเย็น ความจุ 1,000 ลิตร	1	1.00	1.80	1.80	0.80	2.60	60	1.56	0.78	4.94
ถังทำความเย็น ความจุ 500 ลิตร	2	0.84	1.65	2.77	1.34	4.12	10	0.41	1.23	5.76
ถังกวนสาร ความจุ 100 ลิตร	2	0.60	0.60	0.72	0.96	1.68	10	0.17	0.50	2.35
เครื่องกรองแบบอัดตะกอน	1	1.00	1.60	1.60	0.80	2.40	40	0.96	0.72	4.08
เครื่องระเหยแบบฟิล์มไหลลง 3 เอฟเฟค	1	1.20	4.0	4.80	0.96	5.76	50	2.88	1.73	10.37
เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	1	2.80	4.50	12.60	2.24	14.84	50	7.42	4.45	26.71
เครื่องร่อนผง	1	1.00	1.00	1.00	0.80	1.80	50	0.90	0.54	3.24
เครื่องบรรจุผง	1	0.50	0.65	0.33	0.40	0.73	50	0.36	0.22	1.30
เครื่องปิดฝาพอยล์	1	0.29	0.34	0.10	0.23	0.33	50	0.17	0.10	0.60
ชุดเครื่องกำเนิดไอน้ำ	1	2.05	2.25	4.61	1.64	6.25	40	2.50	1.88	10.63
									รวมทั้งรวม	69.99

สามารถแบ่งพื้นที่ออกเป็นแผนกได้ดังนี้

แผนกเก็บน้ำตาลมะพร้าวสด	เท่ากับ	4.94	ตารางเมตร
แผนกกระบวนการผลิต	เท่ากับ	49.27	ตารางเมตร
แผนกบรรจุ	เท่ากับ	5.14	ตารางเมตร
แผนกกำเนิดไอน้ำ	เท่ากับ	10.63	ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่สำหรับสนับสนุนการผลิต สามารถจำแนกออกได้ดังนี้

- ฝ่ายสำนักงาน มีทั้งหมด 6 แผนกได้แก่ แผนกบุคคล, แผนกการตลาด, แผนกจัดซื้อ, แผนกบัญชี และกรรมการผู้จัดการ จำนวนบุคลากรรวมทั้งหมด 6 คน โดยหาพื้นที่ของสำนักงานจากมาตรฐานของการจัดพื้นที่สำนักงาน

จากมาตรฐานสามารถคำนวณหาพื้นที่ของสำนักงานโดยแบ่งออกเป็น

พื้นที่ห้องทำงานของผู้บริหาร จำนวน 1 คน เท่ากับ $1 \times 12 = 12$ ตารางเมตร

ห้องทำงานระดับพนักงานทั่วไป จำนวน 4 คน เท่ากับ $4 \times 5 = 20$ ตารางเมตร

รวม 32 ตารางเมตร

- ห้องสุขา จากหลักเกณฑ์การกำหนดจำนวนห้องสุขาของกฎกระทรวง ฉบับที่ 63 (พ.ศ. 2551) ดังนั้นจึงกำหนดให้ห้องสุขาจำนวน 2 ห้อง มีด้านกว้างห้องละ 1.3 เมตร ด้านยาว 1.5 เมตร พื้นที่ทั้งหมดของห้องสุขา 2 ห้องเท่ากับ 3.9 ตารางเมตร

ตารางที่ 6.8 ความต้องการของเนื้อที่ของหน่วยสนับสนุนการผลิต

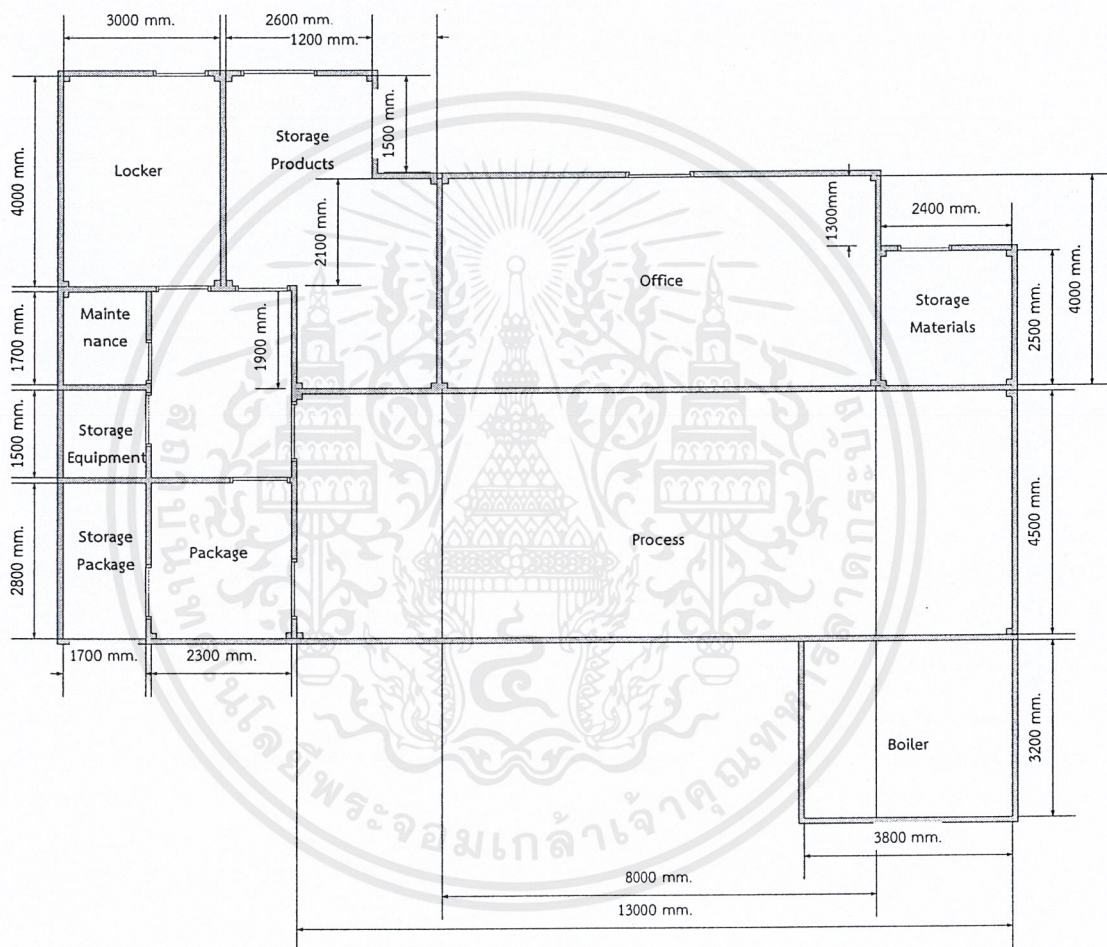
รายละเอียด (กิจกรรม)	เนื้อที่ (ตารางเมตร)
แผนกเก็บพัสดุ	3.00
แผนกเก็บผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง	12.00
สำนักงาน	32.00
ห้องสุขา	3.90
ห้องแต่งตัวและห้องเก็บของ	12.00
แผนกหน่วยซ่อมบำรุง	0.90
แผนกเก็บเครื่องมือ, อุปกรณ์	0.90
รวมเนื้อที่ที่ต้องการ	64.70

ดังนั้น พื้นที่ทั้งหมดที่ใช้ในการจัดตั้งอาคารโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง $69.99 + 64.7 = 134.69$ ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

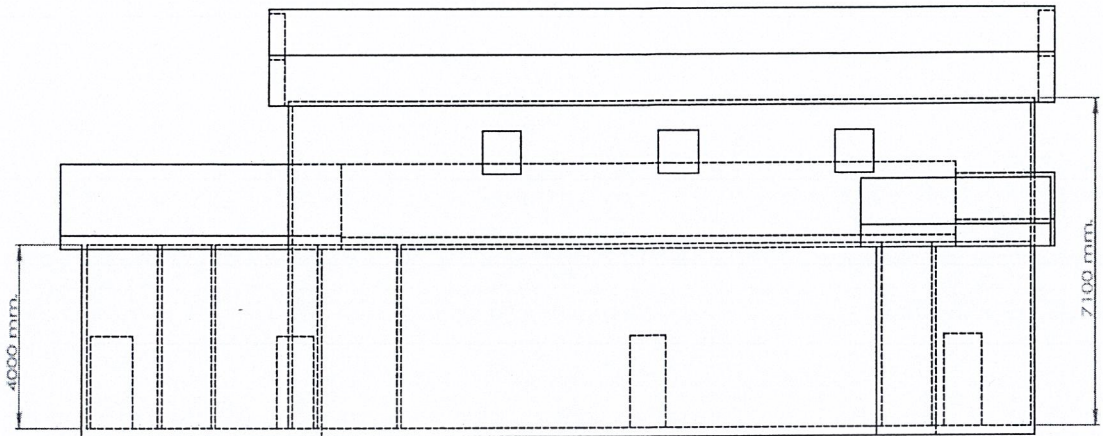
6.4 การออกแบบผังโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง

จากการคำนวณหาพื้นที่ทั้งหมดที่ใช้ในการจัดสร้างอาคารโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง และ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของหน่วยงานต่าง ๆ สามารถจัดสรรเนื้อที่ทั้งในส่วนแผนกเก็บวัตถุดิบ แผนกกระบวนการผลิต แผนกบรรจุ แผนกเก็บผลิตภัณฑ์ แผนกเปลี่ยนเสื้อผ้า เก็บของพนักงาน แผนกซ่อมบำรุง แผนกเก็บพัสดุ แผนกเก็บอุปกรณ์ และสำนักงานได้ดังรูปที่ 6.3



(a)

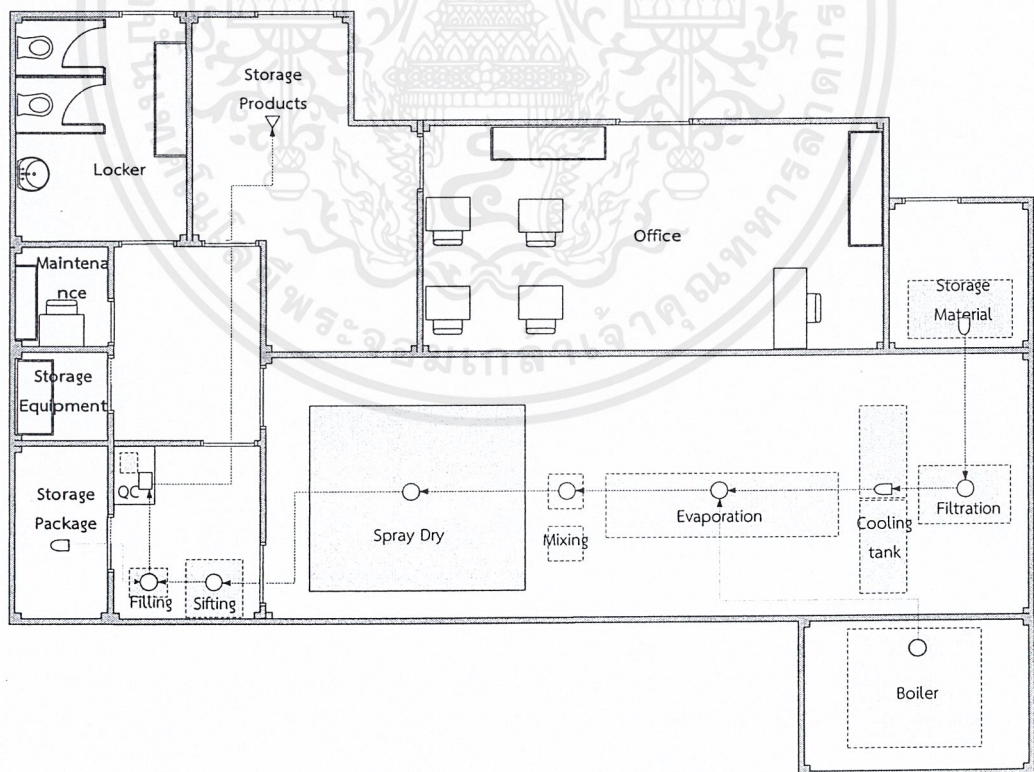
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)

รูปที่ 6.3 ออกแบบผังโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงอย่างหยาบ (a) ด้าน Top View (b) ด้าน Front View

จากการออกแบบผังโรงงานโดยจัดสรรพื้นที่ที่เหมาะสมแล้ว สามารถแสดงพื้นที่ที่ใช้ของแต่ละหน่วยงานได้ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 การออกแบบผังโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงอย่างละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 การประเมินต้นทุนการจัดสร้างโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงเบื้องต้น

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงดังตารางที่ 6.1 สามารถทำการประมาณค่าใช้จ่ายในการลงทุนอุปกรณ์ เครื่องจักรแบบรวดเร็วได้ดังต่อไปนี้

1. ถังทำความเย็น ความจุ 1,000 ลิตร

จากตารางที่ 2.6 เลือกใช้ Pressure vessels แบบ Vertical, Stainless 304

$$\text{shell mass} = \pi D_c L_c t_w \rho$$

เมื่อ D_c คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง (m)

L_c คือ ความสูงของถัง (m)

t_w คือ ความหนาของถัง (m)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

แทนค่า

$$\begin{aligned} \text{shell mass} &= \pi \times 1 \times 1.5 \times 0.05 \times 1030.70 \\ &= 242.85 \text{ kg} \end{aligned}$$

ประมาณค่าใช้จ่ายของถังทำความเย็น ความจุ 1,000 ลิตรได้โดยใช้สมการที่ 2.3

$$\begin{aligned} \text{cost} &= -10,000 + 600(242.85)^{0.6} \\ &= \$ 6,194 = 185,820 \text{ ₪} \end{aligned}$$

2. ถังทำความเย็น ความจุ 500 ลิตร

จากตารางที่ 2.6 เลือกใช้ Pressure vessels แบบ Vertical, Stainless 304

แทนค่า

$$\begin{aligned} \text{shell mass} &= \pi \times 0.84 \times 1 \times 0.05 \times 1030.70 \\ &= 136 \text{ kg} \end{aligned}$$

ประมาณค่าใช้จ่ายของถังทำความเย็น ความจุ 500 ลิตรได้โดยใช้สมการที่ 2.3

$$\begin{aligned} \text{cost} &= -10,000 + 600(136)^{0.6} \\ &= \$ 1,436 = 43,080 \text{ ₪} \end{aligned}$$

3. ถังกวนสาร ความจุ 100 ลิตร

จากตารางที่ 2.6 เลือกใช้ Agitators

สามารถประมาณค่าใช้จ่ายของถังกวนสาร ความจุ 100 ลิตรได้โดยใช้สมการที่ 2.3

$$\begin{aligned} \text{cost} &= 430 + 192(0.41)^{0.8} \\ &= \$ 5,240 = 157,220 \text{ ₪} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปั๊ม

จากตารางที่ 2.6 เลือกใช้ Pumps and Drivers แบบ Single - Stage Centrifugal
เมื่อ $1 \text{ m}^3/\text{h} = 0.28 \text{ liter/second}$

สามารถประมาณค่าใช้จ่ายของปั๊ม ได้โดยใช้สมการที่ 2.3

$$\begin{aligned} \text{cost} &= 330 + 48(0.28)^{1.2} \\ &= \$ 340.4 = 10,212 \text{ ₪} \end{aligned}$$

5. เครื่องกรองแบบอัดตะกอน

จากตารางที่ 2.6 เลือกใช้ Filters แบบ Plate and Frame

สามารถประมาณค่าใช้จ่ายของเครื่องกรองแบบอัดตะกอน ได้โดยใช้สมการที่ 2.3

$$\begin{aligned} \text{cost} &= 7600 + 5400(0.3)^{0.5} \\ &= \$ 10,557.7 = 316,731 \text{ ₪} \end{aligned}$$

6. เครื่องระเหยแบบฟิล์มไหลลง

จากตารางที่ 2.6 เลือกใช้ Evaporators แบบ Falling Film

สามารถประมาณค่าใช้จ่ายของเครื่องระเหยแบบฟิล์มไหลลงได้โดยใช้สมการที่ 2.3

$$\begin{aligned} \text{cost} &= 29,000 + 53,500(0.84)^{0.6} \\ &= \$ 77,186 = 2,315,580 \text{ ₪} \end{aligned}$$

7. เครื่องกำเนิดไอน้ำ

จากตารางที่ 2.6 เลือกใช้ Boiler แบบ Packaged, 15 to 40 bar

สามารถประมาณค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ได้โดยใช้สมการที่ 2.3

$$\begin{aligned} \text{cost} &= 4600 + 62(100)^{0.8} \\ &= \$ 7,068.3 = 212,049 \text{ ₪} \end{aligned}$$

8. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากตารางที่ 2.6 เลือกใช้ Dryers แบบ Spray Dryer

สามารถประมาณค่าใช้จ่ายของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้โดยใช้สมการที่ 2.3

$$\begin{aligned} \text{cost} &= 190,000 + 180(50)^{0.9} \\ &= \$ 196,086.2 = 5,882,586 \text{ ₪} \end{aligned}$$

9. เครื่องบรรจุภัณฑ์

จากตารางที่ 2.6 เลือกใช้ Packing แบบ Stainless 304 Structured Packing สามารถประมาณค่าใช้จ่ายของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้โดยใช้สมการที่ 2.3

$$\text{cost} = \$ 3,200 = 96,000 \text{ ₮}$$

ดังนั้น สามารถหาค่าใช้จ่ายในการลงทุนอุปกรณ์ และเครื่องจักรทั้งหมด ได้จาก

$$\sum C_e = 6,194 + 2(1,436) + 2(5,240) + 340.4 + 10,557.7 + 77,186 + 7,068.3$$

$$+196,086.2 + 3,200$$

$$\sum C_e = \$ 313,984.6 = 9,419,538 \text{ ₮}$$

จากความสัมพันธ์ค่าที่ประมาณของแต่ละอุปกรณ์และตารางที่ 2.4 แทนค่าลงในสมการที่ 2.1 เพื่อประมาณค่าใช้จ่ายในการลงทุนในกระบวนการ Inside Battery Limit (ISBL)

$$C = 9,419,538[(1 + 0.8)1.3]$$

$$C = 13,187,353.20 \text{ ₮}$$

ค่าใช้จ่ายคงที่ทั้งหมด (Total Fixed Capital Cost) หาได้จากสมการที่ 2.4

$$C_{FC} = C(1 + OS)(1 + DE + X)$$

แทนค่า

$$C_{FC} = 13,187,353.20 (1 + 0.3)(1 + 0.3 + 0.1)$$

$$C_{FC} = 24,000,982.82 \text{ ₮}$$

∴ ประมาณค่าใช้จ่ายในการลงทุนคงที่ของโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง เท่ากับ 24,000,982.82 บาท

จากการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด้วยกรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย การออกแบบระบบการควบคุมการผลิต และการวางผังโรงงาน สามารถประมาณค่าใช้จ่าย (Costs Estimate) ในการลงทุนสร้างโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวผงคิดเป็นจำหน่วยเงิน 24 ล้านบาท

บทที่ 7

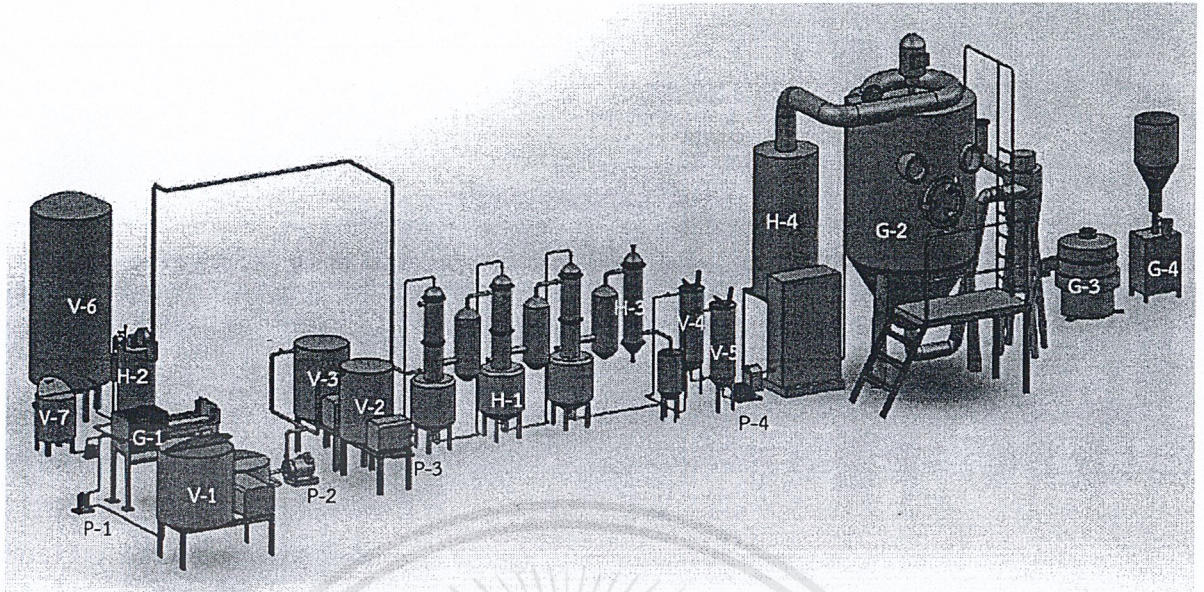
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการดำเนินการ

โครงการการศึกษาความเป็นไปได้การลงทุนสร้างโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าว ในส่วนที่ 1 การออกแบบกระบวนการและอุปกรณ์ในโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวผอง เนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตน้ำตาลผองเป็นอุตสาหกรรมใหม่ที่มีความน่าสนใจ ผลผลิตที่ได้ให้ความหวานแบบธรรมชาติ ปราศจากสารฟอสเฟต มีประโยชน์ต่อสุขภาพที่มีค่าดัชนีไกลซีมิก (Glycemic Index, GI) ต่ำ และควรส่งเสริมให้มีการผลิตเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเกษตรกรไทยที่ปลูกต้นมะพร้าว จึงได้ทำการออกแบบเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับอัตราการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผองโดยมีอัตราการป้อนน้ำตาลมะพร้าวสด 1,000 ลิตรต่อวันเข้าสู่กระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินการออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

1. อุปกรณ์ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผอง

ถึงทำความเข้าใจ (V-1, V-2, V-3) ใช้สำหรับรักษาวัตถุดิบ และพักวัตถุดิบเพื่อรอเข้าสู่กระบวนการผลิตขั้นต่อไป เครื่องกรองแบบใช้แรงอัดตะกอน (G-1) กรองสิ่งสกปรกที่ไม่ต้องการออกจากน้ำตาลมะพร้าว เครื่องระเหยแบบฟิล์มกำลังตก 3 เอฟเฟกต์ (H-1) ทำหน้าที่ในการดึงน้ำออกจากน้ำตาลมะพร้าว โดยใช้ไอน้ำที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอน้ำ (H-2) เป็นตัวถ่ายโอนความร้อนกับน้ำตาลมะพร้าวเพื่อให้น้ำตาลมะพร้าวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นส่วนช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ในการทำแห้งให้เป็นผงจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (G-2) เครื่องร่อนผง (G-3) ทำหน้าที่คัดขนาดที่มีความแตกต่างออกเพื่อให้ผลผลิตที่ได้มีขนาดตามที่ต้องการ หลังจากนั้นทำการบรรจุโดยใช้เครื่องบรรจุผง (G-4) ซึ่งทำหน้าที่บรรจุน้ำตาลมะพร้าวลงขวดเพื่อให้ปริมาตรที่บรรจุในแต่ละขวดมีค่าเท่ากัน จากเครื่องจักร อุปกรณ์ที่ทำการคำนวณ คัดเลือกให้เหมาะสมต่อการผลิตในอัตราการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผองประมาณ 184 กิโลกรัมต่อวัน สามารถวางระบบการผลิต โดยแสดงตำแหน่งการวางเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผองได้ดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง

2. ระบบควบคุมการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง

ในระบบควบคุมกระบวนการผลิตจะใช้หลักการควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ การควบคุมแบบ PLC Controller ซึ่งใช้สำหรับการควบคุมการเปิด - ปิด มอเตอร์ปั๊มและวาล์ว (On - Off Motor Pump and Valve) ของถังทำความเย็นที่ 2 ถึงทำความเย็นที่ 3, ควบคุมการเปิด - ปิด วาล์วทางออกถังทำความเย็นที่ 2 ถึงทำความเย็นที่ 3 เข้าเครื่องทำระเหย และควบคุมเปิด - ปิด วาล์ว ของถังกวนสารที่ 1 ถึงกวนสารที่ 2 และใช้ระบบควบคุมแบบ PID Controller เพื่อควบคุมเครื่องระเหย และเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

3. ผังโรงงานต้นแบบสำหรับการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง

จากการวางผังโรงงาน ตามทฤษฎีการวางผังโรงงาน ผังโรงงานที่ได้มีขนาดพื้นที่เท่ากับ 134.69 ตารางเมตร มีส่วนประกอบเป็นแผนกเก็บวัตถุดิบ 4.94 ตารางเมตร แผนกกระบวนการผลิต เท่ากับ 49.27 ตารางเมตร สูง 7 เมตร (ความสูงของตัวอาคารนอกจากแผนกการผลิต เท่ากับ 4 เมตร) แผนกกำเนิดไอน้ำ เท่ากับ 10.63 ตารางเมตร แผนกบรรจุ เท่ากับ 5.14 ตารางเมตร และพื้นที่ของหน่วยสนับสนุนการผลิต เท่ากับ 64.7 ตารางเมตร โดยสามารถจัดวางผังโรงงานให้เหมาะสมต่อโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร คำนึงถึงคุณภาพของวัตถุดิบ-ผลิตภัณฑ์ การไหลของวัตถุดิบ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละแผนก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ประมาณต้นทุนที่ใช้ในการสร้างโรงงานน้ำตาลมะพร้าวผง

จากการใช้หลักการประมาณค่าใช้จ่ายในการลงทุนคงที่อย่างรวดเร็ว (Rapid Cost Estimates) การคำนวณพบว่าการประมาณราคาลงทุนคงที่ในการก่อสร้างโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง คิดเป็น 24 ล้านบาท โดยต้นทุนนี้เป็นการประมาณราคาของอุปกรณ์เครื่องจักรที่ติดตั้ง ระบบท่อ วาล์ว เครื่องมือวัดและระบบการควบคุม ค่าการก่อสร้างโรงงานและอื่น ๆ

7.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบการควบคุมของเครื่องระเหย แบบ 3 เอฟเฟค และเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย อาจมีระบบควบคุมที่แตกต่างจากการควบคุมในโครงการเล่มนี้ เนื่องจากระบบควบคุมของทั้งสองเครื่องขึ้นอยู่กับ การออกแบบระบบควบคุมการใช้งานจากเครื่องที่ซื้อมาจากตัวแทนจำหน่าย

สำหรับผู้สนใจในการลงทุนสร้างโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง ควรศึกษาทำเลที่ตั้งที่เหมาะสม ในการจัดตั้งโรงงาน หลักสำคัญในการเลือกทำเลที่ตั้งต้องคำนึงถึงปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตให้เพียงพอ และคำนึงวัตถุดิบที่ใช้ในการแปรรูปนั้นเป็นของสด เกิดการเน่าเสียได้ง่าย รวมทั้งเมื่อน้ำตาลมะพร้าวสดแปรรูปเป็นน้ำตาลมะพร้าวผง เป็นการแปรรูปแล้วน้ำหนักเปลี่ยนแปลงมาก จึงควรที่จะจัดตั้งโรงงานอยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ตามหลักการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงาน เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการจัดตั้งโรงงานผลิตต่ำที่สุด รวมทั้งการส่งผลิตภัณฑ์ออกไปจำหน่ายได้สะดวกและประหยัดค่าขนส่งให้มากที่สุด

การจัดจำนวนพนักงานสำหรับโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง นอกจากขึ้นอยู่กับการบริหารตามโครงสร้างขององค์กรแล้ว ยังขึ้นอยู่กับอัตรากำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ด้วย

การออกแบบผังโรงงานเป็นโรงงานต้นแบบ สามารถนำไปปรับปรุง หรือพัฒนา เปลี่ยนแปลงผังโรงงานให้เหมาะสม โดยใช้หลักการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละแผนกให้มีความสอดคล้องตามหลักเหตุผล เพื่อให้โรงงานผลิตมีสุขาภิบาลที่ดี และถูกสุขลักษณะ (Food Plant Hygiene) มากยิ่งขึ้น

ค่าใช้จ่ายที่คำนวณได้นั้นจะมีความคลาดเคลื่อน $\pm 30 - 50 \%$ เนื่องจากเป็นราคาประมาณ และอ้างอิงราคาอุปกรณ์ เครื่องจักรจากประเทศสหรัฐอเมริกา รวมทั้งขนาดพารามิเตอร์ (S) ที่ใช้มีความคลาดเคลื่อนจาก Lower และ Upper ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.6

โครงการการศึกษาความเป็นไปได้การลงทุนสร้างโรงงานแปรรูปน้ำตาลมะพร้าว ในส่วนที่ 2 ศึกษาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ถึงความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างโรงงานผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง จะทำการวิเคราะห์การไหลของเงิน (Cash Flow Analysis) พิจารณาจาก 4 ตัวชี้วัดได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV) ผลประโยชน์สุทธิต่อการลงทุน (Net Benefit Investment Ratio หรือ N/K) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return หรือ IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรกฎ หลวงวังโพธิ์ . (2548). การออกแบบและวางผังโรงงานเพื่อรองรับระบบ HACCP โรงงานผลิตลูกตาวกระป๋องในน้ำเชื่อม . วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต , สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ขวัญใจ อินทร์ศิริพงษ์, เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และ สมิต อินทร์ศิริพงษ์. (2549). การศึกษาเทคนิค และวิธีการทำให้น้ำตาลสดเข้มข้นเทียบเคียงน้ำผึ้ง . คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง.
- จาดรงค์ บุญทันใจ . (2531). การออกแบบโรงงานทางวิศวกรรมเคมี . ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ณรงค์ โมกขวิสุทธิ์ และยรรยง ศรีสม . (2555). มาตรฐานของการจัดพื้นที่สำนักงาน . (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://share.psu.ac.th/blog/nisakorn-5s/8307>. (วันที่ค้นข้อมูล : 16 กุมภาพันธ์ 2555).
- ตระการ ก้าวกลีกรรม. (2544). วิศวกรรมระบบท่ออุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี
- ถวิล ทองสิน. (2543). ศึกษาเกษตรกรชาวสวนอาชีพผลิตน้ำตาลมะพร้าว : กรณีศึกษาเกษตรกร ชาวสวน ตำบลบางแค อำเภอมัทพวา จังหวัดสมุทรสงคราม . วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต , สาขาวิชาศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ทวิช ชูเมือง. (2549). การออกแบบระบบเครื่อง ่องมือวัดและควบคุมทางอุตสาหกรรม “Industrial instrumentation engineering and design”. กรุงเทพฯ : เอช.เอ็น. กรุป.
- เบ็ญจมาศ อู่อ่อน. (2553). การศึกษาโครงสร้างอุตสาหกรรมและแนวทางการพัฒนาวิสาหกิจ ชุมชนผู้ผลิตน้ำตาลมะพร้าวในจังหวัดสมุทรสงคราม . วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต , สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์สหกรณ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ประกา คงปัญญา และเวณิกา เบ็ญจพงษ์. (2547). น้ำตาลมะพร้าว. วารสารหมอชาวบ้าน , 25(297), 49 – 51.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. (2541). บรรจุภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ : แพคเมทส์
- พรพจน์ เปี่ยมสมบุญณ์ . (2543). พลศาสตร์ กระบวนการ การควบคุมกระบวนการ . กรุงเทพฯ : วัฒนาการพิมพ์
- ภุชงค์ สง่า. (2545). ออกแบบโรงงานผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าว . ปริญญาโทวิศวกรรม ศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ . (2011). การกรอง (Filtration). เอกสารประกอบการเรียนวิชา UNIT OPERATIONS IN FOOD ENGINEERING 2 สาขาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วชิรา จิตต์ปราณี (2550). แนวทางพัฒนาน้ำตาลมะพร้าวปลอดภัยสู่ทางเลือกนโยบายสาธารณะ จังหวัดสมุทรสงคราม . วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต , สาขาวิชาการวางแผน สิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชุมชนและชนบท มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน . (2544). การออกแบบเครื่องจักรเล่ม 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ด ยูเคชั่น.
- วิภา สุโรจนะเมธากุล. (2549). ค่าดัชนีไกลซีมิกของอาหาร. วารสารอาหาร, 36(3), 183 – 187.
- วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล , ไพรินทร์ ชูโชติถาวร , ธงชัย เมธาวิณ , ประเวศ อัครวาทกร และวีรพจน์ ลือประสิทธิ์สกุล. (2543). คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี . พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).
- วีรวัชร แก้วเพ็ญศรี. (2551). คู่มือมาตรฐานเพื่อความปลอดภัย ในงานออกแบบแผนผังโรงงาน . วิศวกรรมสาร, 61(6).
- สมเกียรติ บุญสูง. (2553). วิศวกรรมโรงจักรต้นกำลัง (Power plant Engineering). พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: พิกซ์อักษร.
- สมศักดิ์ ตรีสัตย์. (2553). การออกแบบและวางผังโรงงาน . พิมพ์ครั้งที่ 23. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2011) ข้อมูลราคา พื้นที่การปลูกมะพร้าว. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/oae_web/index_answer.php?wcad=1&wtid=7560&t=&filename=webboard. (วันที่ค้นข้อมูล: 9 กันยายน 2554).
- สุชา อารี. (2548). “การเลือกขนาดของปั๊ม”. ระบบท่อ วาล์ว ปั๊ม . พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: เอ็ม แอนด์อี
- สุพัต ครอบงายกุล. (2552). การวิเคราะห์การไหลของสาร (Substance Flow Analysis – SFA). (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.etm.sc.mahidol.ac.th/a8.shtml>. (วันที่ค้นข้อมูล: 8 ธันวาคม 2554).
- Arora, C.P. (2009). Refrigeration and Air Conditioning. 3rd ed. Singapore: Mc Graw-Hill.
- Bartholomai, A. (1987). Food factories: processes, equipment, costs. New York: VCH.
- Beer, F. P., Johnston, E. R. & Dewolf J. T., (2004). Mechanics of materials. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill.
- Davis, M.M., Aquilano, N.J. & Chase, R.B. (1999). Fundamentals of Operations Management. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill.

- Dimme Filtration. (2011). เครื่องอัดตะกอนชนิดแรงดันสูง รุ่น KE500 จากDIEMME. (Online). เข้าถึงได้จาก : http://www.diemmefiltration.com/images/stories/schede_tecniche/EN/KE.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล: 26 ธันวาคม 2554).
- Dziedzic, J.D. (1988). Microencapsulation and encapsulated ingredients. *Journal of Food Technology*. 42, 136-151.
- Elliott, T. C., Chen, K. & Swanekamp, R. C. (1998). *Standard handbook of powerplant engineering*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- Envites. (2012). Filter presses Envites. (Online). เข้าถึงได้จาก : http://www.envites.cz/en_produkty.phtml?k=2&menu=p. (วันที่ค้นข้อมูล: 31 มีนาคม 2555).
- Food and agriculture organization of the United Nations. (2011). *Statistic coconut producers*. (Online). เข้าถึงได้: <http://faostat.fao.org/site/444/DesktopDefault.aspx?PageID=444#ancor>. (วันที่ค้นข้อมูล: 9 กันยายน 2554).
- Food network solution. (2011). *hygienic pump ป้อนสำหรับงานสุขอนามัย*. (Online). เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/1797>. (วันที่ค้นข้อมูล: 26 ธันวาคม 2554).
- Gassner, M. & Marechal, F. (2009). Thermo-economic process model for thermochemical production of Synthetic Natural Gas (SNG) from lignocellulosic biomass. *Biomass and Bioenergy*, 33(2009) 1587–1604.
- GEA Process Engineering. (2012). *Energy Management & Energy Optimization*. (Online). เข้าถึงได้จาก: http://www.niroinc.com/evaporators_crystallizers/energy_evaporation_plants.asp. (วันที่ค้นข้อมูล: 31 มีนาคม 2555).
- Gohel, M.C. & et. al (2009). *Spray Drying: A Review*. (Online). เข้าถึงได้: <http://www.pharmainfo.net/reviews/spray-drying-review>. (วันที่ค้นข้อมูล: 9 กันยายน 2554).
- Hsiang, J. (2554). *3 effect falling film evaporator*. (Online). เข้าถึงได้จาก: http://mcjxkj.en.alibaba.com/product/3408899_66210697919/3_effect_falling_film_juice_milk_ketchup_concentrator_evaporator_SJM_.html. (วันที่ค้นข้อมูล: 21 ธันวาคม 2554).
- lpack Machine. (2012). *เครื่องบรรจุผง รุ่น KFG1000*. (Online). เข้าถึงได้จาก: <http://www.lpack.co.th/2011/02/kfg1000/>. (วันที่ค้นข้อมูล: 2 มีนาคม 2555).
- Koromina, N. (2012). *Milk Cooling Tank*. (Online). เข้าถึงได้จาก: http://www.alibaba.com/product-free/12032434/Milk_Cooling_Tank.html. (วันที่ค้นข้อมูล: 31 มีนาคม 2555).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Lelieveld, H. L. Mostert, M. A. Holah, J. & White, B. (2003). **Hygiene in food processing**. Boca Raton : CRC Press.
- Lew, G. (2012). **vapor pressure lowering**. (Online). เข้าถึงได้จาก: <http://www.scienceinschool.org/solutions/vplowering.html>. (วันที่ค้นข้อมูล: 20 มีนาคม 2555).
- Masters, K. (1985). **Spray drying handbook**. 4th ed. New York: Wiley.
- McCabe, W. L. Smith, J. C. & Harriott, P. (2005). **Unit operations of chemical engineering**. Boston: McGraw-Hill.
- Nash. (2012). **Rotary Drum Filters**. (Online). เข้าถึงได้จาก: <http://www.gdnash.com/article.aspx?id=22918>. (วันที่ค้นข้อมูล: 31 มีนาคม 2555).
- Nikoleiski, D. 2007. **Principles of Hygienic Design**. Kraft Foods. EHEDG Workshop 16 November. Lisbon: Protugal.
- Peters, M.S. & Timmerhaus, K.D. (1991). **Plant design and economic for chemical engineers international**. Singapore: Mc Graw-Hill.
- Pharmaceutical Machinery. (2012). **Sifter**. (Online). เข้าถึงได้จาก: <http://www.pharmaceuticalmachinery.in/sifter.htm>. (วันที่ค้นข้อมูล: 29 กุมภาพันธ์ 2555).
- Philippine Coconut Authority. (1993). **WHAT IS ORGANIC COCONUT SUGAR**. (Online). เข้าถึงได้จาก : <http://www.royalhimalayan.com/DIVINE%20ORGANICS%20Thai%20Coconut%20Sugar%20Nutrition%20information.pdf>. (วันที่ค้นข้อมูล: 20 มีนาคม 2555).
- Seader, J.D. & Henley, E. J. (2006). **Separation process principles**. Hoboken, New Jersey: John Wiley
- Siemens. (2012). **What is a Filter Press**.(Online). เข้าถึงได้จาก: http://www.water.siemens.com/en/products/sludge_biosolids_processing/filter_press/Pages/dewatering_systems_generic_what_is_a_filter_press.aspx. (วันที่ค้นข้อมูล : 28 มีนาคม 2555).
- Sinnott, R.K. & Towler, G. (2005). **Coulson & Richardson's Chemical engineering volume 6 fourth edition Chemical engineering design**. UK: Elsevier's Science & Technology.
- Sugar Engineers. (2012). **Specific Heat Capacity Sugar Factory Solutions**. (Online). เข้าถึงได้จาก : <http://www.sugartech.co.za/heatcapacity/index.php>. (วันที่ค้นข้อมูล : 28 มีนาคม 2555).
- Tamon, H. & et. al (2548). **เทคโนโลยียืบบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร**. ผู้แปล วิรุฬห์ ตัณฑะพานิชกุล และคณะ. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Thai K. Boiler. (2012). Boiler CH-series. (Online). เข้าถึงได้จาก: http://www.thaikboiler.com/main/images/product_pdf/product_stones%20-ch.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล : 8 มีนาคม 2555).
- Unitop. (2012). Zero effluent discharge systems. (Online). เข้าถึงได้จาก : http://www.unitop.org/zero_effluent_discharge_systems4.html. (วันที่ค้นข้อมูล : 28 มีนาคม 2555).
- Vucurovic, D.G., Dodic, S.N., Popov, S.D., Dodic, J. M. & Grahovac J. A. (2011). Process model and economic analysis of ethanol production from sugar beet raw juice as part of the cleaner production concept. *Bioresource Technology*, 104 (2012) 367–372.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงความสว่างที่เหมาะสมต่องานประเภทต่าง ๆ
ที่มา: วีรวัชร (2551)

บริเวณ	ความเข้มของการส่องสว่าง (LUX) ต้องไม่น้อยกว่า
ลานถนนและทางเดินนอกอาคารโรงงาน	20
บริเวณทางเดินภายในอาคารโรงงาน	50
บริเวณปฏิบัติงานที่ไม่ต้องการความละเอียด	100
บริเวณงานที่ต้องการความละเอียดน้อยมาก(ทำงานที่โต๊ะ หรือ ที่เครื่องจักร)	200
บริเวณปฏิบัติงานที่ต้องการความละเอียดน้อย เช่น งานทากาว ฯลฯ	300
บริเวณปฏิบัติงานที่ต้องการความละเอียดปานกลาง เช่น งานพ่นสี ฯลฯ	600
บริเวณปฏิบัติงานที่ต้องการความละเอียดสูง เช่น งานคัดแยกและเทียบสีหนึ่ง ฯลฯ	1200
บริเวณปฏิบัติงานที่ต้องการความละเอียดสูงมาก เช่น งานตรวจสอบชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก ฯลฯ	1600
บริเวณปฏิบัติงานที่ต้องการความละเอียดสูงมากเป็นพิเศษ เช่น งานเจียรไนเพชร ฯลฯ	2400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

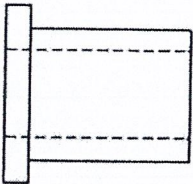
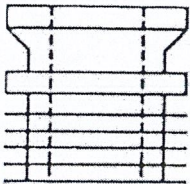
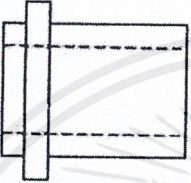
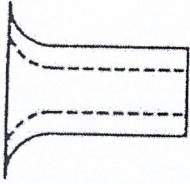
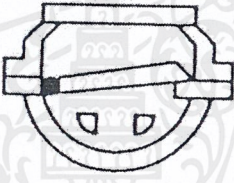
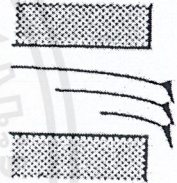
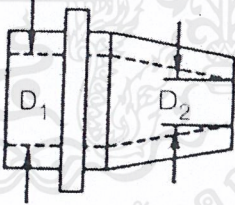
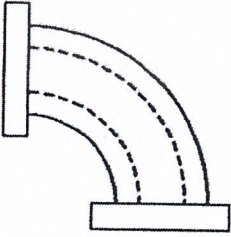
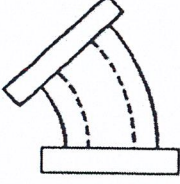
ตารางที่ ก.2 ขนาดของท่อเหล็กกล้า

ที่มา: จาตุรงค์ (2531)

Nominal Pipe Size	Outside Diameter (D) Inches	Schedule No. See Note 1	Wall Thickness (t) Inches	Inside Diameter (d) Inches	Area of Metal (a) Square Inches	Transverse Internal Area		Moment of Inertia (I) Inches to 4th Power	Weight of Pipe Pounds per foot	Weight of Water Pounds per foot of pipe	External Surface Sq. Ft. per foot of pipe	Section Modulus ($\frac{2I}{D}$)
						Square Inches	See Note 2 Square Feet					
1/2	0.405	40s	.068	.269	.0720	.0568	.00040	.00106	.244	.025	.106	.00523
		80x	.095	.215	.0925	.0364	.00025	.00122	.314	.016	.106	.00602
3/4	0.540	40s	.088	.364	.1250	.1041	.00072	.00331	.424	.045	.141	.01227
		80x	.119	.302	.1574	.0716	.00050	.00377	.535	.031	.141	.01395
1	0.675	40s	.091	.493	.1670	.1910	.00133	.00729	.567	.083	.178	.02160
		80x	.126	.423	.2173	.1405	.00098	.00862	.738	.061	.178	.02554
1 1/2	0.840	40s	.109	.622	.2503	.3040	.00211	.01709	.850	.132	.220	.04069
		80x	.147	.546	.3200	.2340	.00163	.02008	1.087	.102	.220	.04780
		160	.187	.466	.3836	.1706	.00118	.02212	1.300	.074	.220	.05267
		...xx	.294	.252	.5043	.050	.00035	.02424	1.714	.022	.220	.05772
2	1.050	40s	.113	.824	.3326	.5330	.00371	.03704	1.130	.231	.275	.07055
		80x	.154	.742	.4335	.4330	.00300	.04479	1.473	.188	.275	.08531
		160	.218	.614	.5698	.2961	.00206	.05269	1.940	.128	.275	.10036
		...xx	.308	.434	.7180	.148	.00103	.05792	2.440	.064	.275	.11032
2 1/2	1.315	40s	.133	1.049	.4939	.8640	.00600	.08734	1.678	.375	.344	.1328
		80x	.179	.957	.6388	.7190	.00499	.1056	2.171	.312	.344	.1606
		160	.250	.815	.8365	.5217	.00362	.1251	2.840	.230	.344	.1903
		...xx	.358	.599	1.0760	.282	.00196	.1405	3.659	.122	.344	.2136
3	1.660	40s	.140	1.380	.6685	1.495	.01040	.1947	2.272	.649	.435	.2346
		80x	.191	1.278	.8815	1.283	.00891	.2418	2.996	.555	.435	.2913
		160	.250	1.160	1.1070	1.057	.00734	.2839	3.764	.458	.435	.3421
		...xx	.382	.896	1.534	.630	.00438	.3411	5.214	.273	.435	.4110
3 1/2	1.900	40s	.145	1.610	.7995	2.036	.01414	.3099	2.717	.892	.497	.3262
		80x	.200	1.500	1.068	1.767	.01225	.3912	3.631	.765	.497	.4118
		160	.281	1.338	1.429	1.406	.00976	.4824	4.862	.608	.497	.5078
		...xx	.400	1.100	1.885	.950	.00660	.5678	6.408	.42	.497	.5977
4	2.375	40s	.154	2.067	1.075	3.355	.02330	.6657	3.652	1.45	.622	.5606
		80x	.218	1.939	1.477	2.953	.02050	.8679	5.022	1.28	.622	.7309
		160	.343	1.689	2.190	2.241	.01556	1.162	7.440	.97	.622	.979
		...xx	.436	1.503	2.656	1.774	.01232	1.311	9.029	.77	.622	1.104
4 1/2	2.875	40s	.203	2.469	1.704	4.788	.03322	1.530	5.79	2.07	.753	1.064
		80x	.276	2.323	2.254	4.238	.02942	1.924	7.66	1.87	.753	1.339
		160	.375	2.125	2.945	3.546	.02463	2.353	10.01	1.54	.753	1.638
		...xx	.552	1.771	4.028	2.464	.01710	2.871	13.70	1.07	.753	1.997
5	3.500	40s	.216	3.068	2.228	7.393	.05130	3.017	7.58	3.20	.916	1.724
		80x	.300	2.900	3.016	6.605	.04587	3.894	10.25	2.86	.916	2.225
		160	.438	2.624	4.205	5.408	.03755	5.032	14.32	2.35	.916	2.876
		...xx	.600	2.300	5.466	4.155	.02885	5.993	18.58	1.80	.916	3.424
5 1/2	4.000	40s	.226	3.548	2.680	9.886	.06870	4.788	9.11	4.29	1.047	2.394
		80x	.318	3.364	3.678	8.888	.06170	6.280	12.51	3.84	1.047	3.140
6	4.500	40s	.237	4.026	3.174	12.73	.08840	7.233	10.79	5.50	1.178	3.214
		80x	.337	3.826	4.407	11.50	.07986	9.610	14.98	4.98	1.178	4.271
		120	.438	3.624	5.595	10.31	.0716	11.65	19.00	4.47	1.178	5.178
		160	.531	3.438	6.621	9.28	.0645	13.27	22.51	4.02	1.178	5.898
...xx	.674	3.152	8.101	7.80	.0542	15.28	27.54	3.38	1.178	6.791		
6 1/2	5.563	40s	.258	5.047	4.300	20.01	.1390	15.16	14.62	8.67	1.456	5.451
		80x	.375	4.813	6.112	18.19	.1263	20.67	20.78	7.88	1.456	7.431
		120	.500	4.563	7.953	16.35	.1136	25.73	27.10	7.09	1.456	9.250
		160	.625	4.313	9.696	14.61	.1015	30.03	32.96	6.33	1.456	10.796
		...xx	.750	4.063	11.340	12.97	.0901	33.63	38.55	5.61	1.456	12.090
7	6.625	40s	.280	6.065	5.581	28.89	.2066	28.14	18.97	12.51	1.734	8.50
		80x	.432	5.761	8.405	26.07	.1810	40.49	28.57	11.29	1.734	12.22
		120	.562	5.501	10.70	23.77	.1650	49.61	36.40	10.30	1.734	14.98
		160	.718	5.189	13.32	21.15	.1469	58.97	45.30	9.16	1.734	17.81
...xx	.864	4.897	15.64	18.84	.1308	66.33	53.16	8.16	1.734	20.02		
8	8.625	20	.250	8.125	6.57	51.85	.3601	57.72	22.36	22.47	2.258	13.39
		30	.277	8.071	7.26	51.16	.3553	63.35	24.70	22.17	2.258	14.69
		40s	.322	7.981	8.40	50.03	.3474	72.49	28.55	21.70	2.258	16.81
		60	.406	7.813	10.48	47.94	.3329	88.73	35.64	20.77	2.258	20.58
		80x	.500	7.625	12.76	45.66	.3171	105.7	43.39	19.78	2.258	24.51
		100	.593	7.439	14.96	43.46	.3018	121.3	50.87	18.83	2.258	28.14
		120	.718	7.189	17.84	40.59	.2819	140.5	60.63	17.59	2.258	32.58
		140	.812	7.001	19.93	38.50	.2673	153.7	67.76	16.68	2.258	35.65
		...xx	.875	6.875	21.30	37.12	.2578	162.0	72.42	16.10	2.258	37.56
		160	.906	6.813	21.97	36.46	.2532	165.0	74.69	15.80	2.258	38.48

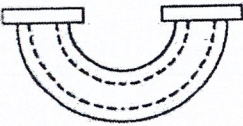
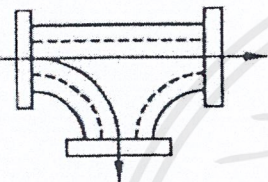
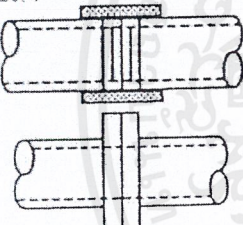
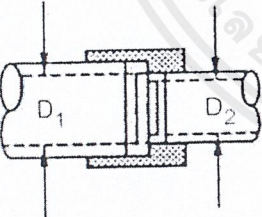
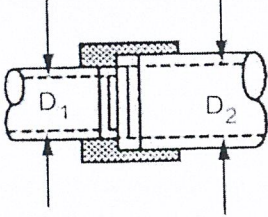
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 สัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับข้อต่อท่อ ทางเข้า ทางออก และข้องอ
ที่มา: ตระการ (2544)

ทางเข้าขอบตรง $K = 0.5$ 	สเตรนเนอร์แบบตะแกรง $K = 1.3$ 	
ทางเข้ายื่นออกไป $K = 1.0$ 	ทางเข้าปลายบาน $K = 0.05$ 	
ฟุตวาล์ว $K = 0.8$ 	ทางออก $K = 1.0$ 	
ทางออกแบบหัวฉีด $K = 0.1 (1 - D_2/D_1)$ D_2/D_1 จาก 0.5 ถึง 0.9 		
ข้องอ 90 	เกลียว ปกติ $K = 1.4$ $K = 1.4(ID)^{-0.53}$ ID from 0.3 to 4 in รัศมียาว $K = 0.75$ $K = 0.75 (ID)^{-0.81}$ ID from to 0.3 to 4 in	หน้าแปลนหรือใช้น้ำยาประสาน ปกติ $K = 0.31$ $K = 0.44(ID)^{-0.23}$ ID from 1 to 25 in รัศมียาว $K = 0.22$ $K = 0.51 (ID)^{-0.58}$ ID from 1 to 23 in
ข้องอ 45 	ปกติ $K = 0.35$ $K = 0.35(ID)^{-0.14}$ ID from 0.3 to 4 in	รัศมียาว $K = 0.17$ $K = 0.22(ID)^{-0.14}$ ID from 1 to 23 in

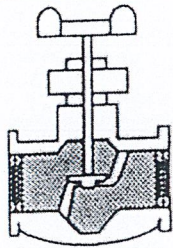
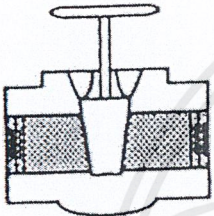
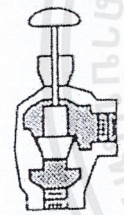
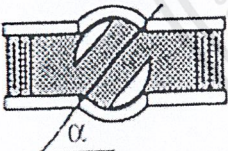
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 สัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับข้อต่อท่อ ทางเข้า ทางออก และข้องอ (ต่อ)
ที่มา: ตระการ (2544)

	เกลียว	หน้าแปลนหรือใช้น้ำยาประสาน
<p>โค้งกลับ</p> 	<p>ปกติ $K = 1.5$ $K = 1.5(ID)^{-0.57}$ ID from 0.3 to 4 in</p>	<p>ปกติ $K = 0.3$ $K = 0.43(ID)^{-0.26}$ ID from 1 to 23 in $K = 0.2$ $K = 0.43(ID)^{-0.53}$ ID from 1 to 23 in</p>
<p>สามทาง</p> 	<p>การไหลตามท่อหลัก $K = 0.9$ ทุกขนาด ID from 0.3 to 4 in การไหลตามท่อสาขา $K = 1.9$ $K = 1.9(ID)^{-0.38}$ ID from 0.3 to 4 in</p>	<p>การไหลตามท่อหลัก $K = 0.14$ $K = 0.27(ID)^{-0.46}$ ID from 1 to 20 in การไหลตามท่อสาขา $K = 0.69$ $K = 1.0(ID)^{-0.29}$ ID from 1 to 20 in</p>
<p>คับปลิง</p> 	<p>$K = 0.08$ $K = 0.083(ID)^{0.69}$ ID from 0.4 to 4 in</p>	<p>$K = 0.08$ ID from 0.3 to 23 in</p>
<p>เปลี่ยนขนาด</p> 	<p>$K = 0.5 - 0.167(D_2/D_1) - 0.125(D_2/D_1)^2 - 0.208(D_2/D_1)^3$ $0.25 < D_2/D_1 < 1$</p>	
<p>การขยายตัวทันที</p> 	<p>$K = 0.93 + 0.592(D_1/D_2) - 3.625(D_1/D_2)^2 + 2.803(D_1/D_2)^3$ $0.2 < D_1/D_2 < 0.9$</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 สัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับวาล์ว
ที่มา: ตระการ (2544)

 โกล์บวาล์ว	เกลี่ยว เปิดเต็มที่ K = 10 $K = \exp(2.158 - 0.459 \ln(ID) + 0.259 [\ln(ID)]^2 - 0.123 [\ln(ID)]^3)$ ID from 0.3 to 4 in	หน้าแปลนหรือใช้น้ำยาประสาน เปิดเต็มที่ K = 10 $K = \exp(2.565 - 0.916 \ln(ID) + 0.339 [\ln(ID)]^2 - 0.01416 [\ln(ID)]^3)$ ID from 0.3 to 4 in																
 เกตวาล์ว	เปิดเต็มที่ K = 0.15 $K = 0.24 (ID)^{-0.47}$ ID from 0.3 to 4 in	เปิดเต็มที่ K = 0.15 $K = 0.78 (ID)^{-1.14}$ ID from 1 to 20 in																
 แอ่งเกิลวาล์ว	เปิดเต็มที่ K = 2.0 $K = 4.5 (ID) - 1.08$ ID from 0.6 to 4 in	เปิดเต็มที่ K = 2.0 $K = \exp(1.569 - 1.43 \ln(ID) + 0.8 [\ln(ID)]^2 - 0.137 [\ln(ID)]^3)$ ID from 1 to 20 in																
 บอลวาล์ว	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Fraction closed α</th> <th>0</th> <th>1/2</th> <th>3/8</th> <th>1/2</th> <th>5/8</th> <th>3/4</th> <th>7/8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K = 0.05</td> <td>0.29</td> <td>1.56</td> <td>5.47</td> <td>17.3</td> <td>25.6</td> <td>206</td> <td>485</td> </tr> </tbody> </table> ทุกขนาด		Fraction closed α	0	1/2	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	K = 0.05	0.29	1.56	5.47	17.3	25.6	206	485
Fraction closed α	0	1/2	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8											
K = 0.05	0.29	1.56	5.47	17.3	25.6	206	485											
เช็ควาล์ว ชนิดสวิง ชนิดบอล ชนิดลิ้นยก	K = 2.5 K = 70.0 K = 12.0	K = 2.5 K = 70.0 K = 12.0																

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ค่าความหยาบเฉลี่ยของท่อบางชนิดในท้องตลาด
ที่มา: ตระการ (2544)

ชนิดของวัสดุท่อ (ท่อใหม่)	e	
	ft	$\times 10^{-3}$, m
ท่อแก้ว ท่อพลาสติก	0.000001	0.0003
ท่อคอนกรีต	0.001 -0.01	0.3 -3.0
ท่อไม้คาน (Wood stave)	0.0006 -0.003	0.18 -0.9
ท่อรีด ท่อทองเหลือง	0.000005	0.0015
ท่อเหล็กเหนียว หรือท่อเหล็กกล้าในท้องตลาด	0.00015	0.046
ท่อเหล็กเหนียวหรือท่อเหล็กกล้าในท้องตลาด	0.003 -0.03	0.9 -9.0
ท่อเหล็กหล่อ	0.00085	0.26
ท่อเหล็กอาบยางมะตอย	0.0004	0.12
ท่อเหล็กอาบสังกะสี	0.0005	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ขนาดมาตรฐานของใบกวน
ที่มา: วิวัฒน์ และคณะ (2543).

ชนิดของใบกวน	D_r/D_i	H_r/D_i	H_f/D_i	แผ่นกั้น		เส้นโค้ง หมายเลข
				จำนวนแผ่น	W_b/D_t	
กัณฑ์แบบมาตรฐานหรือแบบมีแผ่นกลมปิด ด้านบนชนิด 6 ใบ $L_r/D_i = 0.25$ $W_r/D_i = 0.1$	3	3	1	4	0.1	1
กัณฑ์แบบมีแผ่นกลมปิดด้านบนชนิด 16 ใบ $L_r/D_i = 0.35$ $W_r/D_i = 0.1$	2.3	2.5	0.75	4	0.11	2
ใบกวนแบบพาย $W_r/D_i = 0.25$	3	3	1	4	0.1	3
ใบกวนแบบพาย $W_r/D_i = 0.25$	3	3.2	0.33	0	-	4
ใบกวนแบบใบพัดโดยมีพิทช์ $= D_i$	3	3	1	4	0.1	5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 คุณลักษณะของปั๊มแต่ละชนิด

ที่มา: ตระการ (2544)

ชนิดของปั๊ม	รูปแบบกลไกพื้นฐาน (การไหลจากซ้ายไปขวา)	ลักษณะการไหลใน ขณะที่ความเร็วในการ การขับเคลื่อน ไม่เปลี่ยนแปลง	ความดันด้าน ทางออก	ของไหลที่สามารถขนถ่ายโดยมี โครงสร้างที่เหมาะสม							
				CL	O	VL	S	E	Pa	L	Po
หอยโข่ง		คงที่ถ้าเสด ไม่เปลี่ยนแปลง	ต่ำถึงปานกลาง	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
ใบจักร		คงที่ถ้าเสด ไม่เปลี่ยนแปลง	ต่ำถึงปานกลาง	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
กังหัน		คงที่ถ้าเสด ไม่เปลี่ยนแปลง	ต่ำถึงปานกลาง	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗
นิวเตเตอร์		คงที่ถ้าความเร็วใน การขับเคลื่อนที่	ต่ำถึงปานกลาง	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
เกียร์		คงที่ถ้าความเร็วใน การขับเคลื่อนที่	ปานกลาง	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
บีเออร์นส์		คงที่ถ้าความเร็ว ในการขับเคลื่อนที่	ต่ำถึงสูง	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
สกู		คงที่ถ้าความเร็วใน การขับเคลื่อนที่	ปานกลาง	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗
โมยโน		คงที่	ต่ำถึงปานกลาง	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ลูกสูบ		เป็นห่วงๆ ในทุก สภาวะ	ต่ำถึงสูง	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
ไดอะแฟรม		เป็นห่วงๆ ในทุก สภาวะ	ต่ำถึงสูง	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
เวน		แปรเปลี่ยน บ้าง	ต่ำถึงสูง	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗
เพอร์ริส เทลติก		เกือบจะคงที่	ต่ำ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗

หมายเหตุ

CL = ของเหลวสะอาด,

O = น้ำมัน,

VL = ของเหลวหนืด,

S = สเลอรี,

E = อิมัลชัน,

Pa = ของเหลวคล้ายแป้งเปียก,

L = ของไหลเป็นก้อนเล็กๆ,

Po = ของไหลเป็นผง,

✓ = กลไกเหมาะสม,

x = กลไกอาจไม่เหมาะสมหรือไม่นิยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในทางวิศวกรรม

ที่มา: Beer, F. P. (2004)

Material	Density kg/m ³	Ultimate Strength			Yield Strength ¹		Modulus of Elasticity, GPa	Modulus of Rigidity, GPa	Coefficient of Thermal Expansion, 10 ⁻⁶ /°C	Ductility, Percent Elongation in 50 mm
		Tension, MPa	Compres- sion ¹ , MPa	Shear, MPa	Tension, MPa	Shear, MPa				
Steel										
Structural (ASTM-A36)	7860	400			250	145	208	77.2	11.7	21
High strength low alloy ASTM-A709 Grade 345	7860	450			345		208	77.2	11.7	21
ASTM-A913 Grade 450	7860	550			450		208	77.2	11.7	17
ASTM-A992 Grade 345	7860	450			345		208	77.2	11.7	21
Quenched & tempered ASTM-A709 Grade 690	7860	760			690		208	77.2	11.7	18
Stainless, AISI 302										
Cold-rolled	7920	600			520		191	75	17.3	12
Annealed	7920	655			260	152	191	75	17.3	50
Reinforcing Steel										
Medium strength	7860	480			275		208	77	11.7	
High strength	7860	620			415		208	77	11.7	
Cast Iron										
Grey Cast Iron 4.5% C, ASTM 2-48	7200	170	655	241			69	28	12.1	0.5
Malleable Cast Iron 2% C, 1% Si, ASTM A-47	7300	345	620	330	230		160	65	12.1	10
Aluminum										
Alloy 1100-H14 (95% Al)	2710	110		70	95	45	71	26	23.6	9
Alloy 2014-T6	2800	455		275	400	230	71	27	23.0	13
Alloy-2024-T4	2800	470		280	325		71		23.2	19
Alloy-5456-H116	2630	315		185	230	130	71		23.9	16
Alloy 6061-T6	2710	290		165	240	140	71	26	23.6	17
Alloy 7075-T6	2800	570		330	500		71	28	23.6	11
Copper										
Oxygen-free copper (99.9% Cu)										
Annealed	8910	220		150	70		121	44	16.9	45
Work-hardened	8910	350		200	95		121	44	16.9	9
Yellow Brass (65% Cu, 35% Zn)										
Cold-rolled	8470	510		300	410	250	106	39	20.9	8
Annealed	8470	320		220	100	60	106	39	20.9	65
Red Brass (85% Cu, 15% Zn)										
Cold-rolled	8740	585		320	435		121	41	18.7	3
Annealed	8740	270		210	70		121	41	18.7	48
Tin bronze (88 Cu, 8Sn, 4Zn)	8800	310			145		90		18.0	30
Manganese bronze (67 Cu, 28 Zn, 4Al, 3Mn, 3Fe)	8360	655			330		106		21.6	20
Aluminum bronze (81 Cu, 4 Ni, 4 Fe, 11Al)	8330	620	900		275		111	42	16.2	6

(Table continued on page 156)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ตารางเทอร์โมไดนามิกส์ ใช้น้ำอิมิตัว อุณหภูมิเป็นหลัก
ที่มา: สมเกียรติ (2553)

Temp. °C T	Press. kPa P	Specific Volume		Internal Energy			Enthalpy			Entropy		
		Sat. Liquid v_f	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Evap. u_{fg}	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
0.01	0.6113	0.001 000	206.14	.00	2375.3	2375.3	.01	2501.3	2501.4	.0000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001 000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001 000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001 001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001 002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001 003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001 004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001 006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001 008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001 010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001 012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001 015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001 017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001 020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001 023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001 026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001 029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001 033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001 036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001 040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159

Temp. °C T	Press. MPa P	Specific Volume		Internal Energy			Enthalpy			Entropy		
		Sat. Liquid v_f	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Evap. u_{fg}	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
100	0.101 35	0.001 044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.120 82	0.001 048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3630	5.9328	7.2958
110	0.143 27	0.001 052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.169 06	0.001 056	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699.0	1.4734	5.7100	7.1833
120	0.198 53	0.001 060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.6020	7.1296
125	0.2321	0.001 065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001 070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3130	0.001 075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001 080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001 085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	0.4758	0.001 091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001 096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001 102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001 108	0.2727	696.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001 114	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001 121	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001 127	0.194 05	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001 134	0.174 09	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001 141	0.156 54	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001 149	0.141 05	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698
200	1.5538	0.001 157	0.127 36	850.65	1744.7	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	4.1014	6.4323
205	1.7230	0.001 164	0.115 21	873.04	1724.5	2597.5	875.04	1921.0	2796.0	2.3780	4.0172	6.3952
210	1.9062	0.001 173	0.104 41	895.53	1703.9	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	3.9337	6.3585

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ตารางเทอร์โมไดนามิกส์ ไอร่อนยวดยิ่ง

ที่มา: สมเกียรติ (2553)

T	P = .010 MPa (45.81)				P = .050 MPa (81.33)				P = .10 MPa (99.63)				
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s	
Sat.	14.674	2437.9	2584.7	8.1502	3.240	2483.9	2645.9	7.5939	1.6940	2506.1	2675.5	7.3594	
50	14.869	2443.9	2592.6	8.1749									
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4479	3.418	2511.6	2682.5	7.6947	1.6958	2506.7	2676.2	7.3614	
150	19.512	2587.9	2783.0	8.6882	3.889	2585.6	2780.1	7.9401	1.9364	2582.8	2776.4	7.6134	
200	21.825	2661.3	2879.5	8.9038	4.356	2659.9	2877.7	8.1580	2.172	2658.1	2875.3	7.8343	
250	24.136	2736.0	2977.3	9.1002	4.820	2735.0	2976.0	8.3556	2.406	2733.7	2974.3	8.0333	
300	26.445	2812.1	3076.5	9.2813	5.284	2811.3	3075.5	8.5373	2.639	2810.4	3074.3	8.2158	
400	31.063	2968.9	3279.6	9.6077	6.209	2968.5	3278.9	8.8642	3.103	2967.9	3278.2	8.5435	
500	35.679	3132.3	3489.1	9.8978	7.134	3132.0	3488.7	9.1546	3.565	3131.6	3488.1	8.8342	
600	40.295	3302.5	3705.4	10.1608	8.057	3302.2	3705.1	9.4178	4.028	3301.9	3704.7	9.0976	
700	44.911	3479.6	3928.7	10.4028	8.981	3479.4	3928.5	9.6599	4.490	3479.2	3928.2	9.3399	
800	49.526	3663.8	4159.0	10.6281	9.904	3663.6	4158.9	9.8852	4.952	3663.5	4158.6	9.5659	
900	54.141	3855.0	4396.4	10.8396	10.828	3854.9	4396.3	10.0967	5.414	3854.8	4396.1	9.7767	
1000	58.757	4053.0	4640.6	11.0393	11.751	4052.9	4640.5	10.2964	5.875	4052.8	4640.3	9.9764	
1100	63.372	4257.5	4891.2	11.2287	12.674	4257.4	4891.1	10.4859	6.337	4257.3	4891.0	10.1659	
1200	67.987	4467.9	5147.8	11.4091	13.597	4467.8	5147.7	10.6662	6.799	4467.7	5147.6	10.3453	
1300	72.602	4683.7	5409.7	11.5811	14.521	4683.6	5409.6	10.8382	7.260	4683.5	5409.5	10.5183	
		P = .20 MPa (120.23)				P = .30 MPa (133.55)				P = .40 MPa (143.63)			
Sat.	.8857	2529.5	2706.7	7.1272	.6058	2543.6	2725.3	6.9919	.4625	2553.6	2738.6	6.8959	
150	.9596	2576.9	2768.8	7.2795	.6339	2570.8	2761.0	7.0778	.4708	2564.5	2752.8	6.9299	
200	1.0803	2654.4	2870.5	7.5066	.7163	2650.7	2865.6	7.3115	.5342	2646.8	2860.5	7.1706	
250	1.1988	2731.2	2971.0	7.7086	.7964	2728.7	2967.6	7.5166	.5951	2726.1	2964.2	7.3799	
300	1.3162	2808.6	3071.8	7.8926	.8753	2806.7	3069.3	7.7022	.6548	2804.8	3066.8	7.5682	
400	1.5493	2966.7	3276.6	8.2218	1.0315	2965.6	3275.0	8.0330	.7726	2964.4	3273.4	7.8885	
		P = .20 MPa (120.23)				P = .30 MPa (133.55)				P = .40 MPa (143.63)			
T	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s	
500	1.7814	3130.8	3487.1	8.5133	1.1867	3130.0	3486.0	8.3251	.8893	3129.2	3484.9	8.1911	
600	2.013	3301.4	3704.0	8.7770	1.3414	3300.8	3703.2	8.5892	1.0055	3300.2	3702.4	8.4559	
700	2.244	3478.8	3927.6	9.0194	1.4957	3478.4	3927.1	8.8319	1.1215	3477.9	3926.5	8.6937	
800	2.475	3663.1	4158.2	9.2449	1.6499	3662.9	4157.8	9.0576	1.2372	3662.4	4157.3	8.9244	
900	2.706	3854.5	4395.8	9.4566	1.8041	3854.2	4395.4	9.2692	1.3529	3853.9	4395.1	9.1363	
1000	2.937	4052.5	4640.0	9.6563	1.9581	4052.3	4639.7	9.4690	1.4685	4052.0	4639.4	9.3560	
1100	3.168	4257.0	4890.7	9.8458	2.1121	4256.8	4890.4	9.6585	1.5840	4256.5	4890.2	9.5256	
1200	3.399	4467.5	5147.3	10.0262	2.2661	4467.2	5147.1	9.8389	1.6996	4467.0	5146.8	9.7060	
1300	3.630	4683.2	5409.3	10.1982	2.4201	4683.0	5409.0	10.0110	1.8151	4682.8	5408.8	9.8760	
		P = .50 MPa (151.86)				P = .60 MPa (158.85)				P = .80 MPa (170.43)			
Sat.	.3749	2561.2	2748.7	6.8213	.3157	2567.4	2756.8	6.7600	.2404	2576.8	2769.1	6.6511	
200	.4249	2642.9	2855.4	7.0592	.3520	2638.9	2850.1	6.9665	.2608	2630.6	2839.3	6.8116	
250	.4744	2723.5	2960.7	7.2709	.3938	2720.9	2957.2	7.1816	.2931	2715.5	2950.0	7.0344	
300	.5226	2802.9	3064.2	7.4599	.4344	2801.0	3061.6	7.3724	.3241	2797.2	3056.5	7.2321	
350	.5701	2882.6	3167.7	7.6329	.4742	2881.2	3165.7	7.5464	.3544	2878.2	3161.7	7.4081	
400	.6173	2963.2	3271.9	7.7938	.5137	2962.1	3270.3	7.7079	.3843	2959.7	3267.1	7.5721	
500	.7109	3128.4	3483.9	8.0873	.5920	3127.6	3482.8	8.0021	.4433	3126.0	3480.6	7.8673	
600	.8041	3299.6	3701.7	7.3522	.6697	3299.1	3700.9	8.2674	.5018	3297.9	3699.4	8.1531	
700	.8969	3477.5	3925.9	8.5952	.7472	3477.0	3925.3	8.5107	.5601	3476.2	3924.2	8.3771	
800	.9896	3662.1	4156.9	8.8211	.8245	3661.8	4156.5	8.7367	.6181	3661.1	4155.6	8.5711	
900	1.0822	3853.6	4394.7	9.0329	.9017	3853.4	4394.4	8.9486	.6761	3852.8	4393.7	8.8151	
1000	1.1747	4051.8	4639.1	9.2328	.9788	4051.5	4638.8	9.1485	.7340	4051.0	4638.2	9.0151	
1100	1.2672	4256.3	4889.9	9.4224	1.0559	4256.1	4889.6	9.3381	.7919	4255.6	4889.1	9.2041	
1200	1.3596	4466.8	5146.6	9.6029	1.1330	4466.5	5146.3	9.5185	.8497	4466.1	5145.9	9.3311	
1300	1.4521	4682.5	5408.6	9.7749	1.2101	4682.3	5408.3	9.6906	.9076	4681.8	5407.9	9.5571	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 คุณสมบัติของพลาสติกที่นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร

ที่มา: ปุ่น (2541)

วัสดุ	อัตราการซึมผ่าน				ความทนทานต่อสารเคมี			อุณหภูมิ การใช้งาน (°C)	ความใส	การพิมพ์	การดูด ฝุ่น	ความ เหนียว (มิลลิ นิวตัน x เมตร)	ทนต่อ การ กระแทก (gs)	ทนต่อ การฉีก ขาด (นิวตัน x เมตร)	ความ เปราะ (gs)
	ไอน้ำ (กรัม/ ตรม./วัน)	O ₂ (ลบ.ซม./ ตรม./วัน)	N ₂ (ลบ.ซม./ ตรม./วัน)	CO ₂ (ลบ.ซม./ ตรม./วัน)	กรด	ด่าง	สาร ระเหย								
Polyethylene, LD.	1.3	550	180	2,900	ดี	ดี	ดี	-70 - 180	ใส	พอใช้	สูง	10	20	100	400
Polyethylene, HD.	0.3	600	70	450	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	-20 - 250	ใส	พอใช้	สูง	150	10	30	100
Polypropylene	0.7	240	60	800	ดี	ดีมาก	ดีมาก	-20 - 200	ใส	ดี	สูง	200	1	25	300
Polyester	0.7	14	0.7	16	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	-70 - 230	ใส	พอใช้	ปาน กลาง	550	4.8	40	100
Polyvinyl Chloride	4	150	NA	970	ดีมาก	ดีมาก	พอใช้	-50 - 200	ใส	โ	สูง	378	8	90	20
Polystyrene	8	310	50	1,050	ดี	ดีมาก	เลว	-80 - 175	ใส	ดี	สูง	750	0.3	-	1

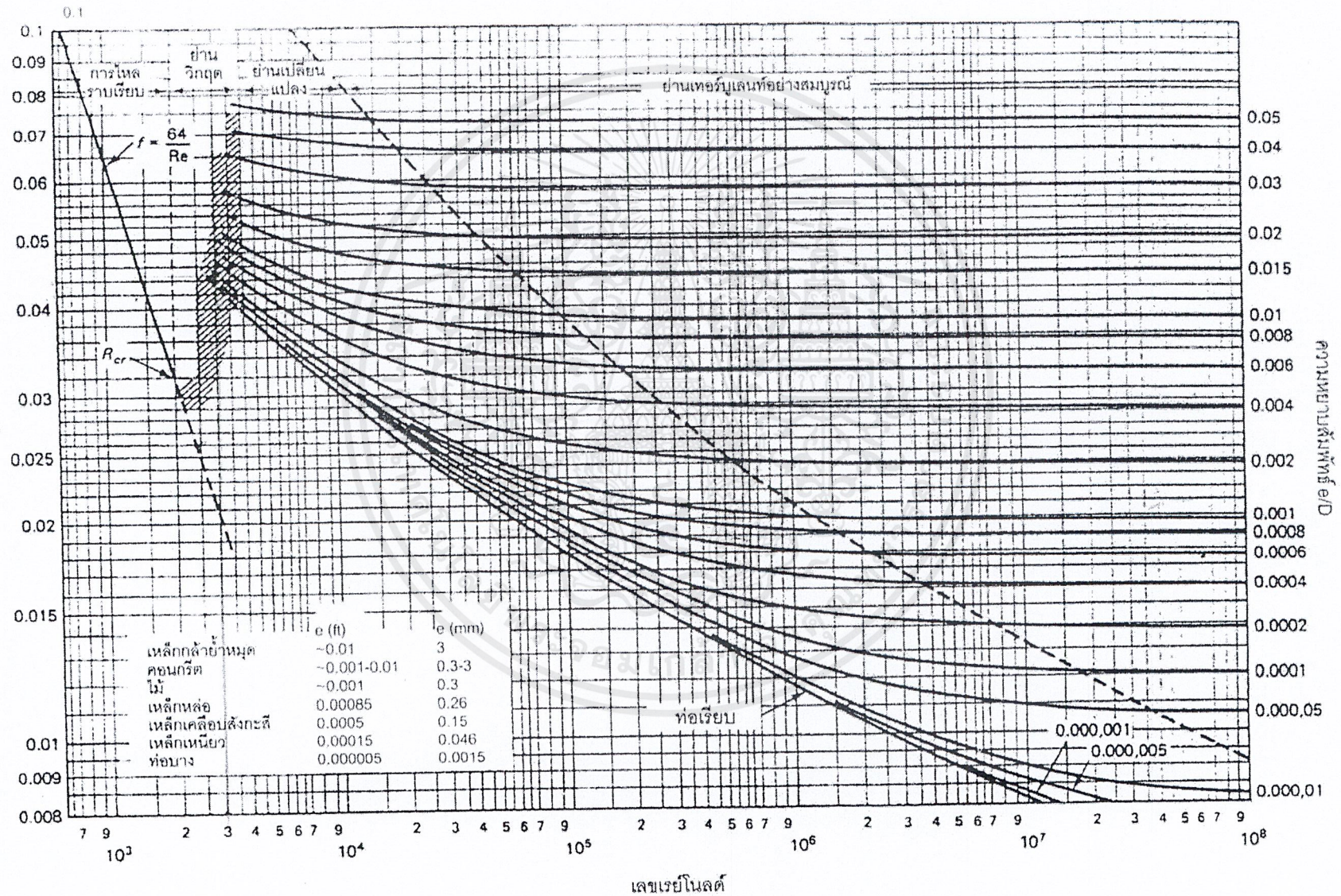


ภาคผนวก ข

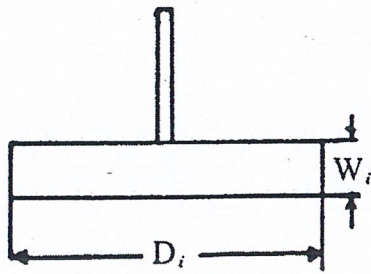
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.1 แผนภาพโมดี

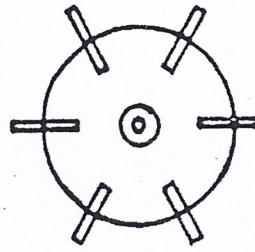
ที่มา: ตระการ (2544).



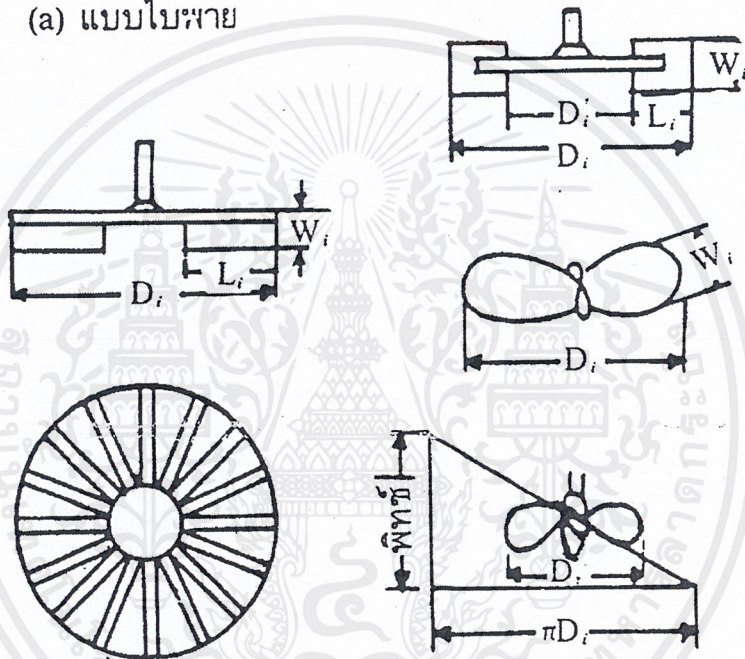
รูปที่ ข.2 ลักษณะของใบกวนและความสัมพันธ์ของใบกวน
ที่มา: วิวัฒน์ และคณะ (2543)



(a) แบบใบพาย



(b) แบบกั้งหัน



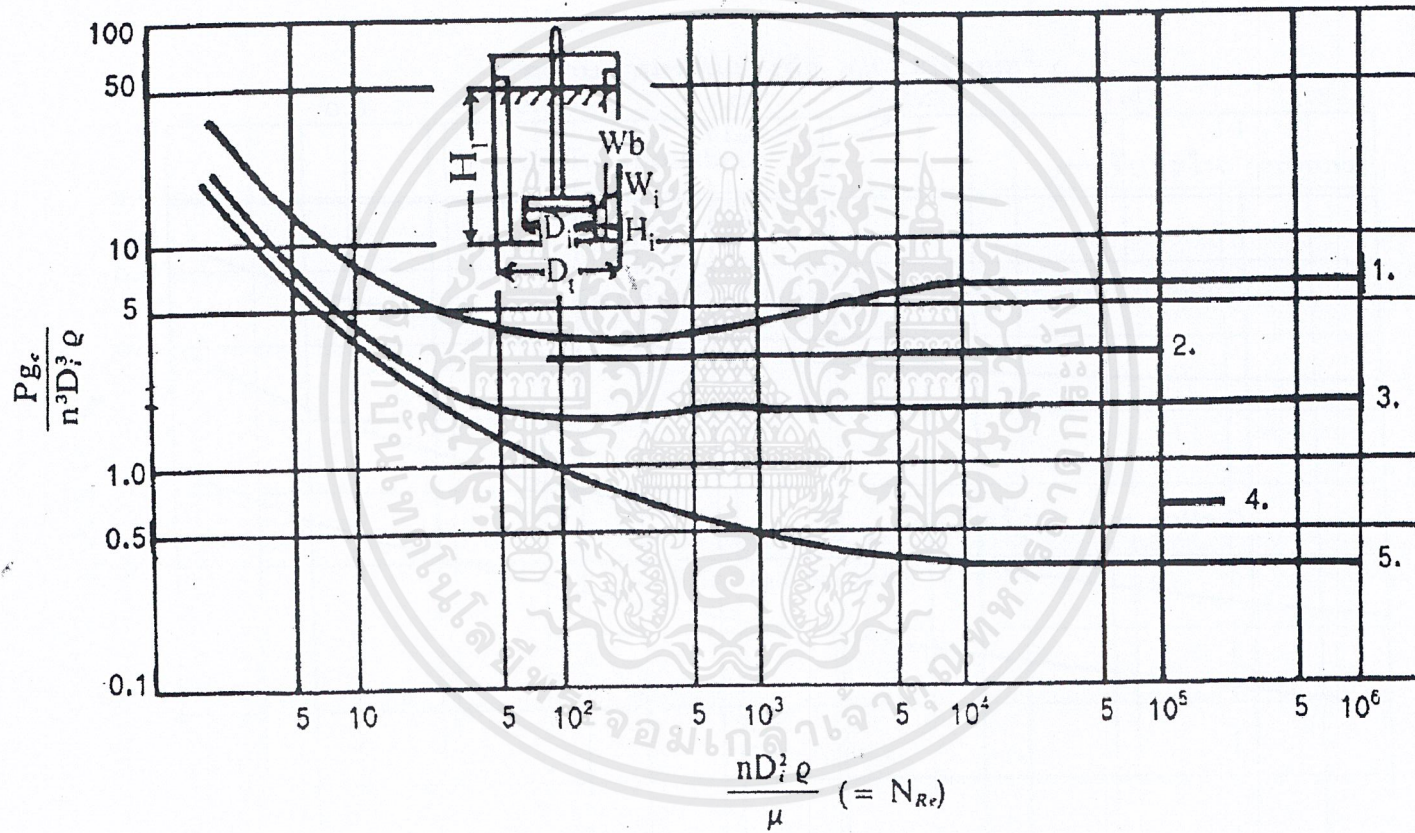
(c) แบบใบพัด

(d) แบบกั้งหัน
ซึ่งมีแผ่นกลมปิดด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง N_p และ N_{Re}

ที่มา: วิวัฒน์ และคณะ (2543)



รูปที่ ข.4 ตัวประกอบผิว
ที่มา: วรวิทย์ (2544)

