สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การจำลองกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบโดยใช้โปรแกรม HYSYS

นางสาวกรรณิการ์ นรากรมังคลา
นางสาวเยาวนา เจริญพร
นางสาวสิริรัตน์ หวังดำรงเวศ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42396
วัน, เดือน, ปี 20 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simulation of Concentrated Milk Processes by HYSYS Program

Miss Kannika Narakornmangkala

Miss Yaowana Charoenporn

Miss Sirirat Wangdamrongwes

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Bachelor of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การจำลองกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบ
โดยใช้โปรแกรม HYSYS

โดย นางสาวกรรณิการ์ นรากรมังคลา
นางสาวเยาวนา เจริญพร
นางสาวสิริรัตน์ หวังดำรงเวศ
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ
(อาจารย์เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

_____ กรรมการ
(ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์)

_____ กรรมการ
(อาจารย์รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การจำลองกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบ
โดยใช้โปรแกรม HYSYS
โดย นางสาวกรรณิการ์ นรากรมังคลา
นางสาวเยาวนา เจริญพร
นางสาวสิริรัตน์ หวังดำรงเวศ
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการจำลองกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบโดยใช้โปรแกรม HYSYS ทำให้สะดวกในการที่จะศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็งในการแปรรูปเป็นนมผงและ 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็งในการแปรรูปเป็นนมผงอัดเม็ด ซึ่งจากเดิมต้องทำการระเหยโดยผ่านกระบวนการถึงสองรอบโดยใช้เครื่องระเหยแบบสองขั้น จึงได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการพบว่า อัตราการระเหยจะแปรผกผันกับอัตราการไหลของน้ำนมดิบและแปรผันตรงกับอัตราการไหลของไอน้ำ จากนั้นจึงทำการปรับอัตราการไหลของน้ำนมดิบหรืออัตราการไหลของไอน้ำ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของน้ำนมตามที่ต้องการโดยผ่านกระบวนการระเหยเพียงรอบเดียว จะได้ว่าจากสภาวะจริงที่อัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมงต้องใช้อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 116 และ 124 กิโลกรัมต่อชั่วโมงในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 42 และ 52 เปอร์เซ็นต์ของของแข็ง ตามลำดับ แต่ถ้าใช้เครื่องระเหยแบบสามขั้นจะใช้อัตราการไหลของไอน้ำเพียง 83.5 และ 88.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งจะประหยัดพลังงานได้มากกว่า และเมื่อศึกษาเทียบกับรายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานพบว่า การเพิ่มอัตราการไหลของน้ำนมดิบแม้ว่าจะต้องเพิ่มอัตราการไหลของไอน้ำ แต่รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Simulation of Concentrated Milk Processes by HYSYS Program

By Miss Kannika Narakornmangkala

Miss Yaowana Charoenporn

Miss Sirirat Wangdamrongwes

Advisor Mr. Kriangsak Kraiwattanawong

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering,

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project is the simulation of a process that increases the concentration milk to produce 42 weight percentage of concentrated milk for fine milk powder and 52 weight percentage of concentrated milk for milk tablet by using HYSYS program. Previously, the process had two cycles of evaporation by using double-effects falling-film evaporator. To study the key factor of the evaporating process, the rate of evaporation is inversely proportional to the flow rate of feed but it is proportional to the flow rate of steam. Then the flow rate of feed and steam are varied in the condition of a cycle of evaporation. From the actual process, at 250 kilogram per hour of feed, the flow rate of steam is 116 kilogram per hour to produce 42 weight percentage of concentrated milk and 124 kilogram per hour to produce 52 weight percentage of concentrated milk. For the simulation of the evaporation of triple-effects falling-film evaporator, the flow rate of steam is 83.5 kilogram per hour to produce 42 weight percentage of concentrated milk and 88.5 kilogram per hour to produce 52 weight percentage of concentrated milk, which save more energy. Although the increase of steam consumption at higher milk flow rates, the income from the production is enhanced.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้เป็นเรื่องการจำลองกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบด้วยวิธีการระเหยโดยใช้โปรแกรม HYSYS เพื่อเสนอภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การจัดทำโครงงานนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากผู้ทรงคุณวุฒิหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณทุกๆท่านดังต่อไปนี้

- คุณวิน วัชโรทัย และเจ้าหน้าที่ทุกท่านประจำโรงนมผงสวนดุสิต โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา
- ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์
- ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา
- อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์
- อาจารย์รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์สันติ วัฒนานุสรณ์และอาจารย์เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ให้คำปรึกษาแนะนำตลอดมา อนึ่ง คณะผู้จัดทำขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านและขอบคุณเพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ้ามีสิ่งผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

กรรณิการ์ นราการมังคลา
เยาวนา เจริญพร
สิริรัตน์ หวังดำรงเวศ
26 มีนาคม 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

สัญลักษณ์ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1

1.2 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 โปรแกรม HYSYS 3

2.1 เบื้องต้นทางหน้าจอ 3

2.2 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม HYSYS 6

2.3 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องมือ 9

บทที่ 3 โรงนมผงสวนดุสิต 16

3.1 การดำเนินการผลิต 16

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตนมผง 16

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานการผลิต 17

บทที่ 4 น้ำนม 19

4.1 ไขมันนม 20

4.2 โปรตีน 28

4.3 แลกโตส 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 วิตามินในน้ำนม....37
4.5 แร่ธาตุและเกลือในน้ำนม....38
4.6 องค์ประกอบอื่นๆในน้ำนม....38
บทที่ 5 การระเหย....39
5.1 จุดประสงค์ของการใช้กระบวนการระเหยในโรงงานอุตสาหกรรม....40
5.2 ชนิดของเครื่องระเหย....41
5.3 Falling – film – type evaporator....46
5.4 หลักการสำหรับการออกแบบ Falling - film evaporator....49
5.5 การคำนวณการระเหยแบบ Single effect....51
5.6 การคำนวณการระเหยแบบ Multiple effects....54
5.7 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีต่อกระบวนการระเหย....57
บทที่ 6 ผลที่ได้จากการศึกษาการจำลองกระบวนการ....59
6.1 การจำลองกระบวนการ....59
6.2 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการ....68
6.3 การปรับปรุงกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบ....72
บทที่ 7 สรุปผลการศึกษา....81
เอกสารอ้างอิง....83
ภาคผนวก....84
ภาคผนวก ก อุปกรณ์ที่ใช้ในโรงนมผงสวนดุสิต สวนจิตรลดา....85
ภาคผนวก ข คุณสมบัติของสาร....89
ภาคผนวก ค การคำนวณ....94
ภาคผนวก ง ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการจำลองกระบวนการ....98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบต่างๆภายในน้ำนม 20
ตารางที่ 4.2 ชนิดของกรดไขมันที่สำคัญในไตรกลีเซอไรด์ของไขมันนม 27
ตารางที่ 4.3 ชนิดและความเข้มข้นโปรตีนชนิดต่างๆในนม 30
ตารางที่ 6.1 ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับหน่วยของกระบวนการ 63
ตารางที่ 6.2 ข้อมูลขององค์ประกอบต่างๆในกระบวนการผลิตนมผง
(ความเข้มข้น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง) 64
ตารางที่ 6.3 สัดส่วนโดยโมลขององค์ประกอบต่างๆในกระบวนการผลิตนมผง
(ความเข้มข้น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง) 65
ตารางที่ 6.4 ข้อมูลขององค์ประกอบต่างๆในกระบวนการผลิตนมผงอัดเม็ด
(ความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง) 66
ตารางที่ 6.5 สัดส่วนโดยโมลขององค์ประกอบต่างๆในกระบวนการผลิตนมผงอัดเม็ด
(ความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง) 67
ตารางที่ 6.6 สัดส่วนโดยมวลของของแข็งที่ได้จากการระเหยเมื่อ
อัตราการไหลต่างๆของน้ำนมดิบ 68
ตารางที่ 6.7 สัดส่วนโดยมวลของของแข็งที่ได้จากการระเหยเมื่อ
อัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 มีค่าต่างๆ 69
ตารางที่ 6.8 สัดส่วนโดยมวลของของแข็งที่ได้จากการระเหยเมื่อ
ความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 มีค่าต่างๆ 70
ตารางที่ 6.9 สัดส่วนโดยมวลของของแข็งที่ได้จากการระเหยเมื่อ
ความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 มีค่าต่างๆ 71
ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำนม 89
ตารางที่ ข.2 องค์ประกอบของน้ำนม 90
ตารางที่ ข.3 ความจุความร้อนของน้ำที่ความดัน 101.325 กิโลปาสคาล 90
ตารางที่ ข.4 ความจุความร้อนของไอน้ำที่ความดัน 101.325 กิโลปาสคาล 91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ข.5 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ 92
ตารางที่ ง.1 ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับหน่วยของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น
ของน้ำนมดิบโดยใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น.....100
ตารางที่ ง.2 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 230 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 101
ตารางที่ ง.3 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 240 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 102
ตารางที่ ง.4 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 103
ตารางที่ ง.5 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 260 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 104
ตารางที่ ง.6 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 270 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 105
ตารางที่ ง.7 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 เท่ากับ 65 กิโลกรัมต่อชั่วโมง .106
ตารางที่ ง.8 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 เท่ากับ 70 กิโลกรัมต่อชั่วโมง .107
ตารางที่ ง.9 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 เท่ากับ 75 กิโลกรัมต่อชั่วโมง .108
ตารางที่ ง.10 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 เท่ากับ 80 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 109
ตารางที่ ง.11 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 เท่ากับ 85 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 110
ตารางที่ ง.12 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 เท่ากับ
38.55 กิโลปาสคาล.....111
ตารางที่ ง.13 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 เท่ากับ
31.16 กิโลปาสคาล.....112
ตารางที่ ง.14 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 เท่ากับ
19.92 กิโลปาสคาล.....113
ตารางที่ ง.15 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 เท่ากับ
12.34 กิโลปาสคาล.....114
ตารางที่ ง.16 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 เท่ากับ
31.16 กิโลปาสคาล.....115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง.17 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 เท่ากับ 19.92 กิโลปาสคาล....116
ตารางที่ ง.18 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 เท่ากับ 12.34 กิโลปาสคาล....117
ตารางที่ ง.19 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 เท่ากับ 8.00 กิโลปาสคาล....118
ตารางที่ ง.20 ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับหน่วยของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบโดยใช้เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น....120
ตารางที่ ง.21 อัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำในกระบวนการ-ระเหยให้ได้น้ำนมเข้มข้น 42 และ 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง....121
ตารางที่ ง.22 รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (ความเข้มข้น 42 เปอร์เซ็นต์) เมื่อใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้นที่อัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำต่างๆ....122
ตารางที่ ง.23 รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (ความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์) เมื่อใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้นที่อัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำต่างๆ....123
ตารางที่ ง.24 รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (ความเข้มข้น 42 เปอร์เซ็นต์) เมื่อใช้เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้นที่อัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำต่างๆ....124
ตารางที่ ง.25 รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (ความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์) เมื่อใช้เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้นที่อัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำต่างๆ....125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 PFD 4

รูปที่ 2.2 Workbook 5

รูปที่ 2.3 Property view 5

รูปที่ 2.4 หน้าจอเมนูหลักของโปรแกรม HYSYS 6

รูปที่ 2.5 Fluid Packages 7

รูปที่ 2.6 Fluid Packages สมการที่ใช้ในการคำนวณ 8

รูปที่ 2.7 Components 8

รูปที่ 2.8 Workbook; การใส่ข้อมูลเพื่อคำนวณ 9

รูปที่ 2.9 หน้า Connections ในหอกลั่น 10

รูปที่ 2.10 หน้า Monitor ในหอกลั่น 12

รูปที่ 2.11 เครื่องแยก 13

รูปที่ 2.12 หน้า Reaction Package 13

รูปที่ 2.13 การใส่ข้อมูลของสารที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา 14

รูปที่ 2.14 หน้าจอเมื่อเสร็จสิ้นการกำหนดข้อมูล 15

รูปที่ 4.1 องค์ประกอบของไขมันนม ขนาด 0.1 – 20 ไมโครเมตร
ขนาดเฉลี่ย 3 – 4 ไมโครเมตร 21

รูปที่ 4.2 ไขมันจะลอยอยู่เป็นชั้นหรือเป็นลักษณะครีมที่ผิวของของเหลว 22

รูปที่ 4.3 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน 23

รูปที่ 4.4 มอนอกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ 24

รูปที่ 4.5 สูตรโครงสร้างของกรดสเตียริก 24

รูปที่ 4.6 ชนิดของกรดไขมันไม่อิ่มตัว 25

รูปที่ 4.7 โครงสร้างของกรดอะมิโน 28

รูปที่ 4.8 กลุ่มต่างๆภายในโมเลกุลโปรตีน 29

รูปที่ 4.9 องค์ประกอบของไมเซลล์ย่อย 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 ไมเซลล์ 32
รูปที่ 5.1 กราฟค่าการละลายของเกลือบางชนิดในน้ำ 39
รูปที่ 5.2 Horizontal-tube natural circulation evaporator 42
รูปที่ 5.3 Vertical-type natural circulation evaporator 43
รูปที่ 5.4 Long-tube vertical-type evaporator 44
รูปที่ 5.5 Forced-circulation-type evaporator 45
รูปที่ 5.6 การเกิดฟิล์มของเหลวใน Falling-film evaporator และ Climbing film evaporation 47
รูปที่ 5.7 Falling-film evaporator 50
รูปที่ 5.8 กราฟเดอริงของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 51
รูปที่ 5.9 เครื่องระเหยแบบขั้นเดียว 52
รูปที่ 5.10 Forward-feed triple-effect evaporator 54
รูปที่ 6.1 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง 60
รูปที่ 6.2 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง 61
รูปที่ 6.3 แผนภาพจำลองกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบ 62
รูปที่ 6.4 เปรียบเทียบการใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้นกับแบบ 3 ขั้นในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง 73
รูปที่ 6.5 เปรียบเทียบการใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้นกับแบบ 3 ขั้นในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง 74
รูปที่ 6.6 เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้กับรายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการเพิ่มความเข้มข้นน้ำนมดิบเป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง โดยใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 6.7 เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้กับรายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการเพิ่มความเข้มข้นน้ำนมดิบเป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง โดยใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น 78
รูปที่ 6.8 เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้กับรายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการเพิ่มความเข้มข้นน้ำนมดิบเป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง โดยใช้เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น 79
รูปที่ 6.9 เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้กับรายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการเพิ่มความเข้มข้นน้ำนมดิบเป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง โดยใช้เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น 80
รูปที่ ก.1 คูลลิ่งแท้งค์ 85
รูปที่ ก.2 ถังควบคุมระดับน้ำนม 85
รูปที่ ก.3 ชุดเครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น 86
รูปที่ ก.4 ถังพักนมและโฮโมจีไนซ์เซอร์ 86
รูปที่ ก.5 เครื่องอบแห้งแบบพ่น 87
รูปที่ ก.6 ถังดักนมผง 88
รูปที่ ง.1 แผนภาพกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบโดยใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น 99
รูปที่ ง.2 แผนภาพกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบโดยใช้เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น 119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

A	พื้นผิวสัมผัสที่ถ่ายเทความร้อน (ตารางเมตร)
A_m	ค่าเฉลี่ยของพื้นผิวสัมผัสที่ถ่ายเทความร้อน (ตารางเมตร)
A_1, A_2, A_3	พื้นผิวสัมผัสที่ถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหยขั้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (ตารางเมตร)
c_{pF}	ความจุความร้อนของสารป้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม·องศาเคลวิน)
c_{pL}	ความจุความร้อนของสารละลายเข้มข้น(กิโลจูลต่อกิโลกรัม·องศาเคลวิน)
F	อัตราการไหลของสารป้อน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
H_S	เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัว (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
H_V	เอนทัลปีของไอ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
H_1, H_2	เอนทัลปีของไอที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
h_F	เอนทัลปีของสารป้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
h_L	เอนทัลปีของสารละลายเข้มข้น (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
h_S	เอนทัลปีของของเหลวควบแน่น (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
h_1, h_2	เอนทัลปีของสารละลายเข้มข้นที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
L_1, L_2	อัตราการไหลของสารละลายเข้มข้นที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
m	อัตราการไหลของสารป้อน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
P_1	ความดันของเครื่องระเหยขั้นที่ 1 ที่อุณหภูมิ T_1 (กิโลปาสคาล)
q	ความร้อนที่ถ่ายเทในระบบ (กิโลจูลต่อชั่วโมง)
q_{EVAP1}, q_{EVAP2}	ความร้อนที่ถ่ายเทในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (กิโลจูลต่อชั่วโมง)
$q_{M\text{-}FEED}$	ความร้อนของสารที่เข้าเครื่องอุ่นสารป้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)
$q_{PRE\text{-}HEAT}$	ความร้อนของสารที่ออกจากเครื่องอุ่นสารป้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)

$q_{PREHEATER}$	ความร้อนที่ถ่ายเทในเครื่องอุ่นสารป้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)
q_{STEAM1}	ความร้อนของไอน้ำที่เข้าเครื่องอุ่นสารป้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)
q_{STEAM2}	ความร้อนของไอน้ำที่ออกจากเครื่องอุ่นสารป้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)
q_1, q_2, q_3	ความร้อนที่ถ่ายเทในเครื่องระเหยขั้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (กิโลจูลต่อชั่วโมง)
S	อัตราการไหลของไอน้ำอิ่มตัวและของเหลวควบแน่น (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
T_F	อุณหภูมิของสารป้อน (องศาเคลวิน)
T_{in}	อุณหภูมิของสารที่เข้า (องศาเคลวิน)
T_{out}	อุณหภูมิของสารที่ออก (องศาเคลวิน)
T_{ref}	อุณหภูมิอ้างอิง (องศาเคลวิน)
T_S	อุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัว (องศาเคลวิน)
T_1, T_2, T_3	อุณหภูมิของสารละลายเข้มข้นหรือจุดเดือดของสารละลายของเครื่องระเหยขั้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (องศาเคลวิน)
ΔT	ผลต่างของอุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิของสารละลายเข้มข้นหรือจุดเดือดของสารละลาย (องศาเคลวิน)
$\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3$	ผลต่างของอุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิของสารละลายเข้มข้นหรือจุดเดือดของสารละลายของเครื่องระเหยขั้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (องศาเคลวิน)
$\Delta T_1', \Delta T_2', \Delta T_3'$	ผลต่างของอุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิของสารละลายเข้มข้นหรือจุดเดือดของสารละลายของเครื่องระเหยขั้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับที่คำนวณใหม่ (องศาเคลวิน)
$\Sigma\Delta T$	ผลรวมของผลต่างของอุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิของสารละลายเข้มข้นหรือจุดเดือดของสารละลายของเครื่องระเหยขั้นที่ 1, 2 และ 3 (องศาเคลวิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)

U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (วัตต์ต่อตารางเมตร·องศาเคลวิน)
U_1, U_2, U_3	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหยขั้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (วัตต์ต่อตารางเมตร·องศาเคลวิน)
V	อัตราการไหลของไอ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
V_1, V_2	อัตราการไหลของไอที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
x_F	สัดส่วนโดยมวลของของแข็งในสารป้อน (ไม่มีหน่วย)
x_L	สัดส่วนโดยมวลของของแข็งในสารละลายเข้มข้น (ไม่มีหน่วย)
x_1, x_2	สัดส่วนโดยมวลของของแข็งในสารละลายเข้มข้นที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (ไม่มีหน่วย)
y_V	สัดส่วนโดยมวลของของแข็งในไอ (ไม่มีหน่วย)
λ	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอและการควบแน่น (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
$\lambda_{S1}, \lambda_{S2}$	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอและการควบแน่นในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

โรงงานอุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่ต้องการที่จะพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตอยู่เสมอ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบและศึกษาตัวแปรของกระบวนการ เพื่อออกแบบและศึกษาทดลองถึงความเป็นไปได้ในการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรหรือสภาวะที่ใช้ในกระบวนการ โดยอาจมีการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณตัวแปรที่มีอยู่จำนวนมากนอกจากนี้ยังช่วยในการคำนวณสำหรับวิธีการคำนวณต่างๆที่ซับซ้อน

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปมีให้เลือกใช้มากมายหลายแบบ เช่น AXSYS, CFX, HX-NET เป็นต้น โปรแกรม HYSYS ก็เป็นโปรแกรมหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการและทำให้ทราบถึงสภาวะการทำงานที่เหมาะสม เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่กระบวนการและพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถช่วยลดต้นทุนและเวลาที่ต้องสูญเสียไปในการทดลองได้มาก โดยโปรแกรม HYSYS นี้ได้พัฒนามาจากโปรแกรม HYSIM ทำให้มีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น

โปรแกรม HYSYS เป็นโปรแกรมที่มีความคล่องตัวสูง มีวิธีการคำนวณแบบต่างๆให้เลือกใช้ได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรมหรือประเภทของกระบวนการผลิตรวมทั้งสารเคมีที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นความสำคัญของโปรแกรมนี้จึงอยู่ที่การช่วยแก้ปัญหาและลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ผลจากกรณีศึกษากรณีหนึ่งและทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของกระบวนการโดยไม่ต้องทำการทดลองในกระบวนการจริง

1.1 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษากระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์นมผงโดยใช้เครื่องระเหยชนิด Falling – film แบบ 2 ขั้น (Double-effects falling-film evaporator)
2. เพื่อศึกษาส่วนประกอบและวิธีการใช้งานของโปรแกรม HYSYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อสร้างแบบจำลองของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบโดยใช้โปรแกรม HYSYS
4. เพื่อศึกษาตัวแปรพื้นฐานที่มีผลต่อสภาวะการทำงานของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบ
5. นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองมาปรับปรุงกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นให้เหมาะสม

1.2 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สร้างแบบจำลองกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบที่ทำการศึกษาโดยใช้โปรแกรม HYSYS
2. ตรวจสอบความถูกต้องของการสร้างแบบจำลองจากการใช้โปรแกรม HYSYS กับค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี
3. ศึกษาผลกระทบของตัวแปรพื้นฐานที่มีต่อกระบวนการ เมื่อตัวแปรเหล่านั้นมีค่าเปลี่ยนไป
4. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการระเหยเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์นมผง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ประยุกต์ใช้โปรแกรม HYSYS ในการจำลองกระบวนการทำงานของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบได้
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม HYSYS เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการได้
3. ใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา นำไปปรับปรุงกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นให้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

โปรแกรม HYSYS

2.1 บทนำ [2]

HYSYS เป็นโปรแกรมของบริษัท Hyprotech ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองกระบวนการทางเคมี เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนที่เกิดขึ้นภายในโรงงานได้อย่างรวดเร็วและได้ค่าที่เที่ยงตรงน่าเชื่อถือ

HYSYS เป็นโปรแกรมที่มีความคล่องตัวสูง กล่าวคือโปรแกรมจะถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่ายสำหรับทั้งผู้ที่เคยมีประสบการณ์ในการใช้งานโปรแกรมนี้มาแล้วหรือเคยใช้งานโปรแกรมอื่นๆที่คล้ายคลึงกัน และสำหรับผู้ที่ไม่เคยมีประสบการณ์ในการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมประเภทนี้เลย โปรแกรมถูกสร้างให้สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย ไม่ต้องศึกษาคำสั่งจำนวนมากมาย ซึ่งเหมาะกับผู้เริ่มต้นฝึกหัดใช้ ทั้งยังมี Menu Help ที่ช่วยอธิบายหัวข้อต่างๆภายในตัวโปรแกรมนี้ได้ดี ซึ่งโปรแกรม HYSYS ได้รับการพัฒนามาจากโปรแกรม HYSIM ทำให้มีประสิทธิภาพสูงและสามารถใช้งานในโปรแกรมวินโดว์ธรรมดาได้ จึงมีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น

การคำนวณโดยใช้โปรแกรม HYSYS นี้จะเป็นไปอย่างอัตโนมัติจึงทั้งง่ายและสะดวก กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรใดๆในกระบวนการ HYSYS ก็จะทำการคำนวณผลที่เกิดขึ้นใหม่ในทันที ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในกรณีศึกษากรณีหนึ่งๆ

ในโปรแกรม HYSYS จะประกอบด้วย ฐานข้อมูล วิธีที่ใช้ในการคำนวณคุณสมบัติต่างๆและสารที่ใช้ ซึ่งในการเลือกใช้ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับงานที่ทำด้วย

2.2 การแสดงผลเบื้องต้นทางหน้าจอ [2]

ในโปรแกรม HYSYS ข้อมูลจะสามารถแก้ไขได้โดยผ่านการแสดงผลเบื้องต้นทางหน้าจอ 3 แบบ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

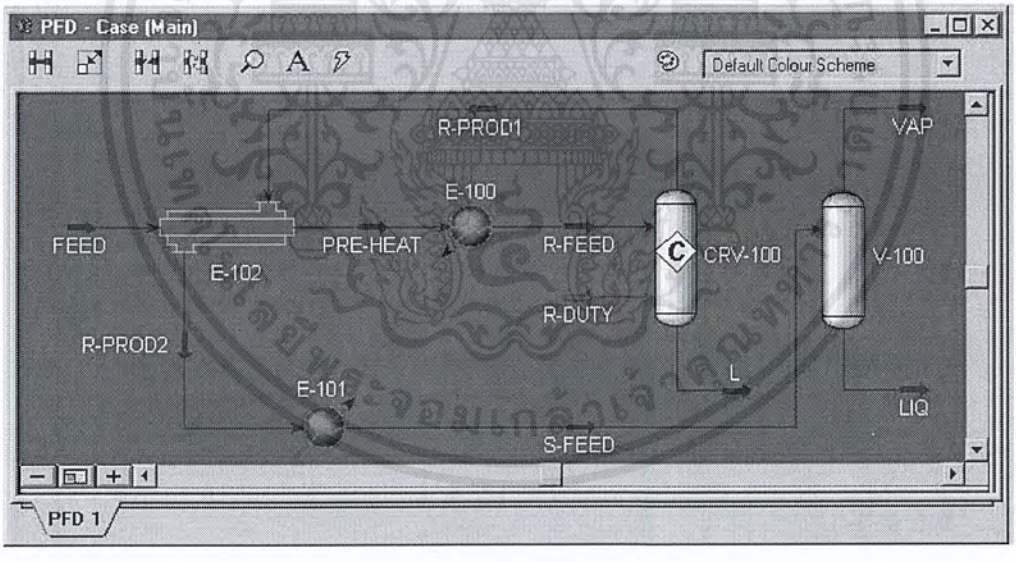
1) PFD (Process Flow Diagram)

2) Workbook

3) Property view

โดยจะไม่มีการจำกัดบนหน้าจอแสดงผล (PFD, Workbook or Property view) กล่าวคือ สามารถเปิดได้ทุกเวลา และในการแสดงข้อมูลหากเกิดการเปลี่ยนแปลงข้อมูลก็จะทำให้ข้อมูลอื่นเกิดการเปลี่ยนแปลงตามอย่างอัตโนมัติ

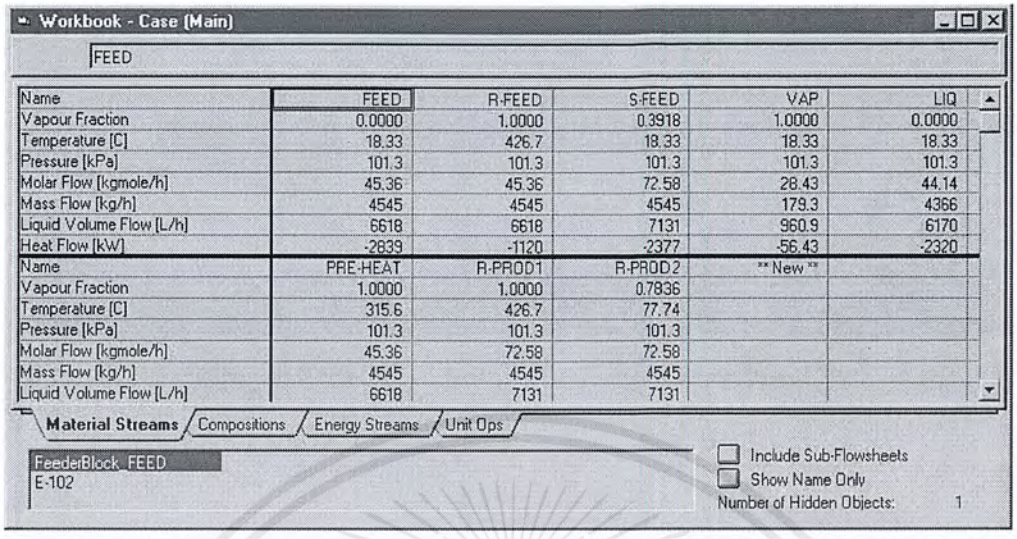
2.2.1 PFD : เป็นแผนภาพที่แสดงทิศทางการไหลของกระแสที่เข้าและออกจากเครื่องมือต่างๆ ในหน่วยการผลิตแต่ละหน่วย ซึ่งจะบอกถึงความสัมพันธ์ของกระแสการไหลและลำดับขั้นตอนในกระบวนการ เราสามารถใช้ PFD ที่สร้างขึ้นในการตรวจสอบกระแสที่ไหลได้ และยังแสดงรายละเอียดข้อมูลของกระบวนการโดยดูได้ในตารางแสดงสมดุลของสารที่ใช้ ตัวอย่างของ PFD ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 PFD

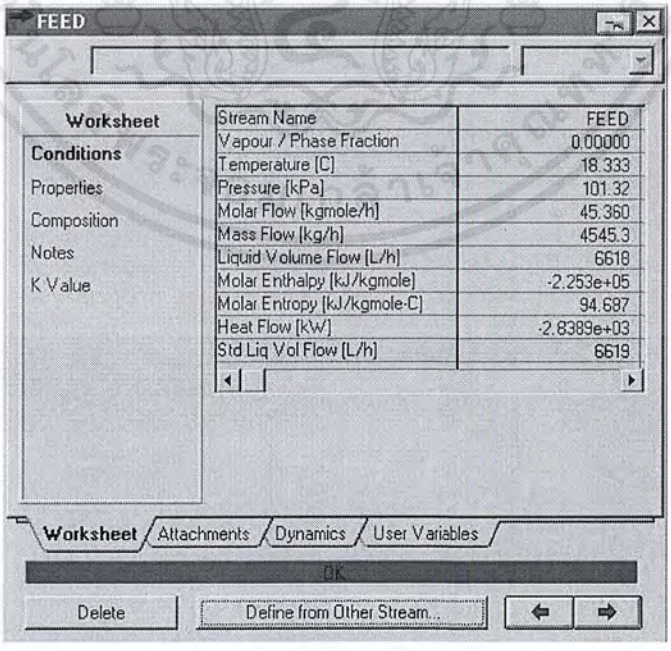
2.2.2 Workbook : เป็นแหล่งรวมของหน้าต่างๆซึ่งในแต่ละหน้าจะแสดงข้อมูลออกมาในรูปแบบของตาราง และในแต่ละหน้าของ Workbook จะแสดงข้อมูลเฉพาะสำหรับชนิดของรูปแบบวัตถุนั้นๆ เช่น เป็นกระแสของพลังงานหรือกระแสของวัตถุดิบ เครื่องมือที่ใช้ องค์ประกอบของวัตถุดิบที่เข้า ตัวอย่างของ Workbook ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 Workbook

2.2.3 Property view : เป็นส่วนที่กำหนดคุณสมบัติของกระแสหรือการดำเนินการในแต่ละขอบเขตที่กำหนดที่เรียกว่า Tab โดยในแต่ละ Tab จะประกอบด้วยข้อมูลของคุณสมบัติต่างๆ ในแต่ละกระแสและแต่ละเครื่องมือ ตัวอย่างของ Property view ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Property view

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ขั้นตอนในการใช้โปรแกรม HYSYS [2], [3]

การเข้าสู่โปรแกรม HYSYS มีขั้นตอนดังนี้

2.3.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ จะเข้าสู่หน้าจอวินโดว์

2.3.2 เลือก Start Menu

→ เลือก Programs

→ เลือก Hyprotech

→ เลือก HYSYS Plant

2.3.3 หลังจากนั้นจะเข้าสู่หน้าจอเมนูหลักของโปรแกรม HYSYS เพื่อพร้อมที่จะทำงาน ดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 หน้าจอเมนูหลักของโปรแกรม HYSYS

2.3.3.1 สามารถเปิดแฟ้มข้อมูลที่ได้เคยทำไปแล้ว โดยคลิกที่ Icon (Open file)

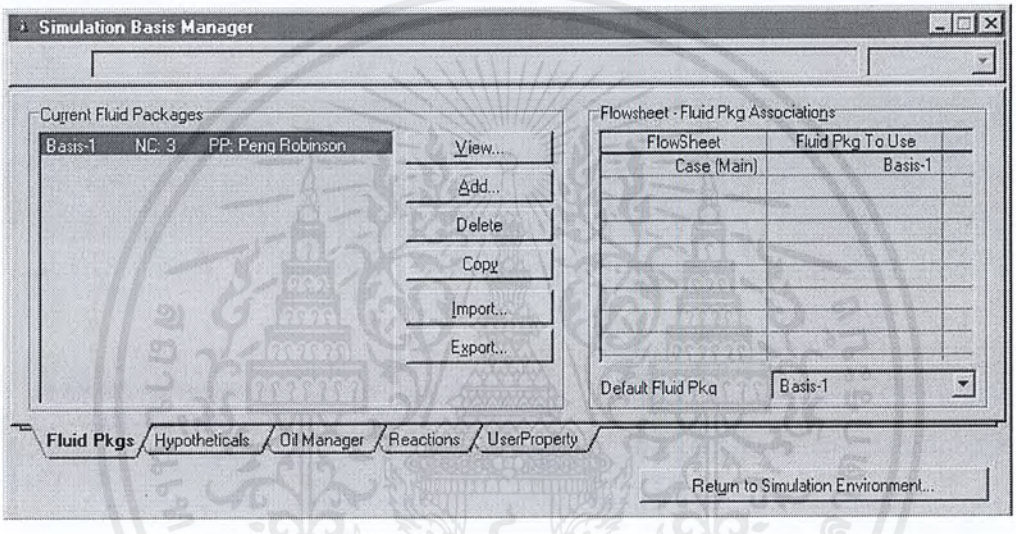
2.3.3.2 ทำการสร้างแฟ้มใหม่โดยคลิกที่ Icon (New file)

2.3.3.3 เมื่อต้องการบันทึกข้อมูล สามารถทำได้โดยคลิกไปที่ Icon (Save)

2.3.3.4 ถ้าต้องการออกจากโปรแกรมให้คลิกไปที่ปุ่ม Exit เพื่อจบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

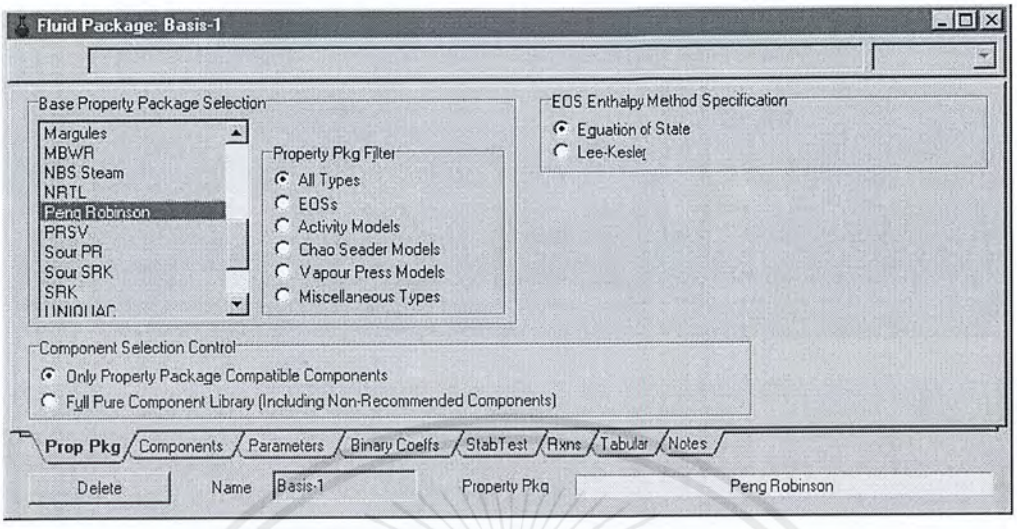
2.3.4 เริ่มทำการจำลองกระบวนการโดยเปิดจาก New file ทำให้โปรแกรมเข้าสู่หน้าต่าง Simulation Basis Manager เพื่อใช้ในการกำหนดสมการที่ใช้ในการคำนวณสารต่างๆและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยทำการป้อนข้อมูลต่างๆลงไปให้ครบถ้วน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกเก็บในส่วนของ Fluid Packages (Fluid Pkgs) โดยต้องทำการ Add ใหม่เข้าไปในครั้งแรกทุกครั้ง ซึ่งจะเก็บไว้ในชื่อ Basis-1 ถ้าต้องการเพิ่มหน่วยการผลิตอื่นเข้าไปให้ใส่ข้อมูลและทำเช่นเดียวกันแล้ว Add เพิ่มเข้าไปก็จะได้ชื่อ Basis-2 เพื่อสะดวกในการเปิดดูข้อมูลในหน่วยการผลิตที่ต่างกัน



รูปที่ 2.5 Fluid Packages

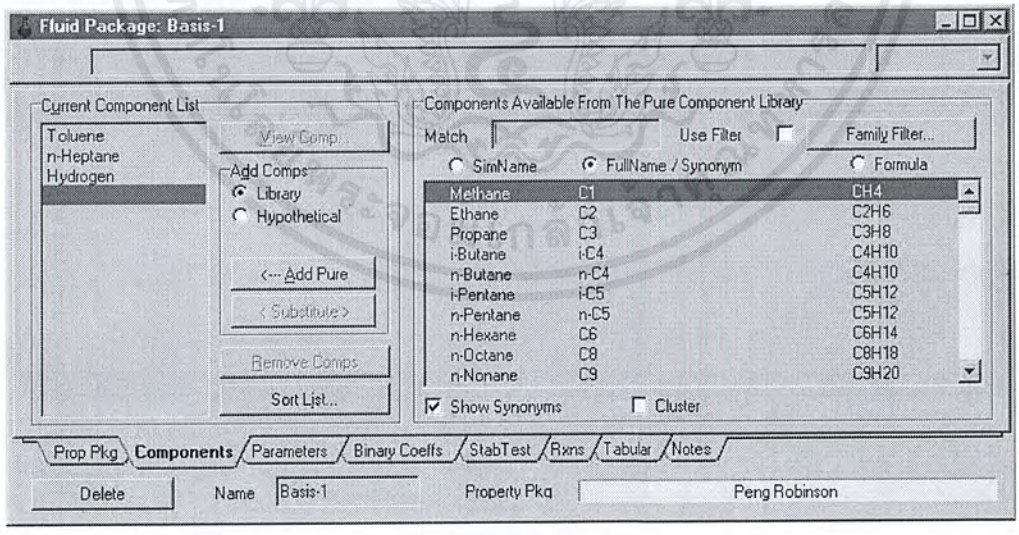
2.3.5 หลังจาก Add แล้วก็จะเข้าสู่ Fluid Packages เพื่อเลือกสมการสภาวะที่เหมาะสมกับสภาวะการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 Fluid Packages สมการที่ใช้ในการคำนวณ

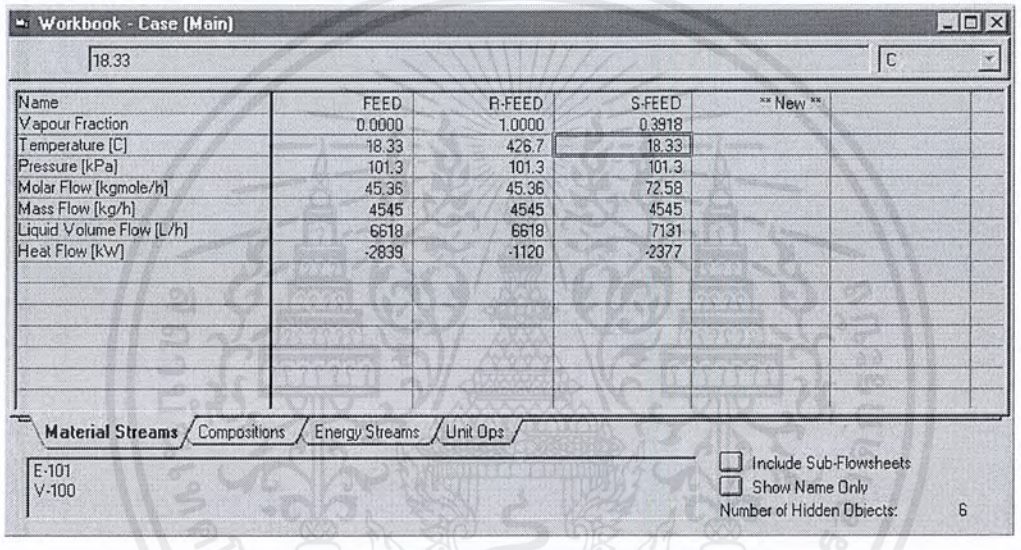
2.3.6 เลือกหน้า Components แล้วป้อนข้อมูลของสารที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด ถ้าในโปรแกรมไม่มีสารที่ต้องการ สามารถกำหนดขึ้นใหม่โดยคลิกเลือกที่ Hypothetical แล้วใส่ข้อมูลของสารใหม่ที่ต้องการลงไป



รูปที่ 2.7 Components

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 กลับเข้าสู่หน้า Simulation Basis Manager อีกครั้งแล้วเริ่มต้นจำลองกระบวนการต่างๆ โดยคลิก Return to Simulation Environment หน้าจอจะแสดง PFD ที่ว่างเปล่าเพื่อใช้วาง Icon ของเครื่องมือต่างๆ เช่น Reactor, Mixer, Distillation column, Pump โดยมีกระแสการไหลเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างเครื่องมือต่างๆเพื่อจำลองกระบวนการที่ศึกษา และมี Screen tip บอกข้อมูลคร่าวๆ เมื่อนำ pointer ชี้ไปยังเครื่องมือหรือกระแสต่างๆโดยไม่ต้องคลิกเข้าไปดู และมี Tool box เป็นหน้าต่างที่เก็บเครื่องมือต่างๆให้ผู้ใช้เลือกใช้ได้อย่างสะดวก



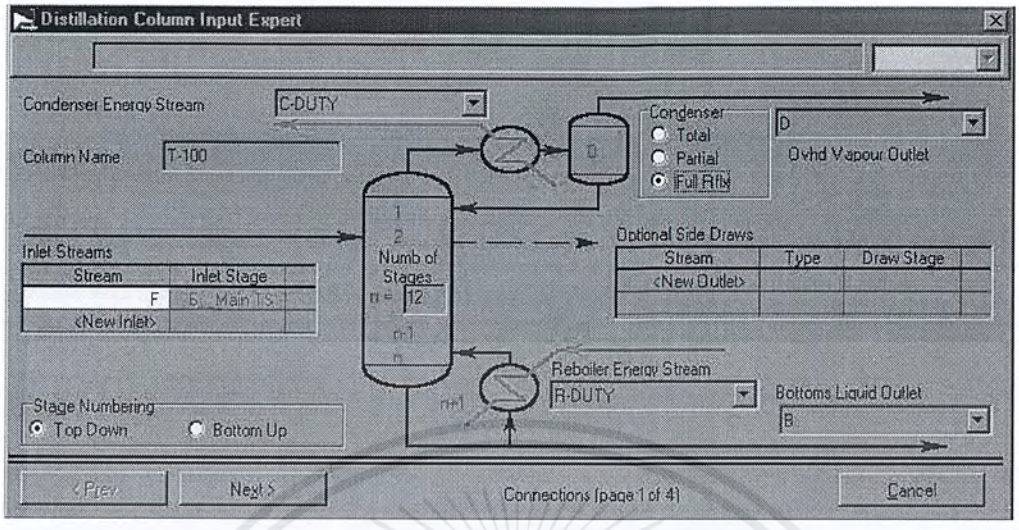
รูปที่ 2.8 Workbook; การใส่ข้อมูลเพื่อคำนวณ

2.4 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องมือ [2]

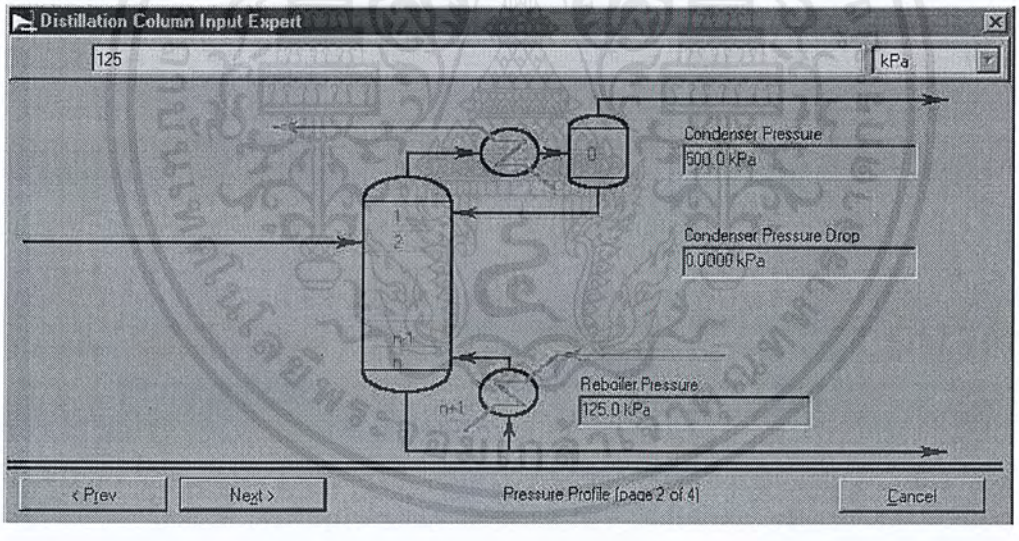
2.4.1 การติดตั้งหอกลั่น

2.4.1.1 เมื่อจำลองการใช้งานหอกลั่น ให้เปิดเข้าไปในหน้า Connections แล้วป้อนข้อมูลจำนวนชั้นของหอกลั่น กระแสที่ป้อนเข้า ตำแหน่งชั้นที่ป้อนเข้า พลังงานที่ใช้ ความดันและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

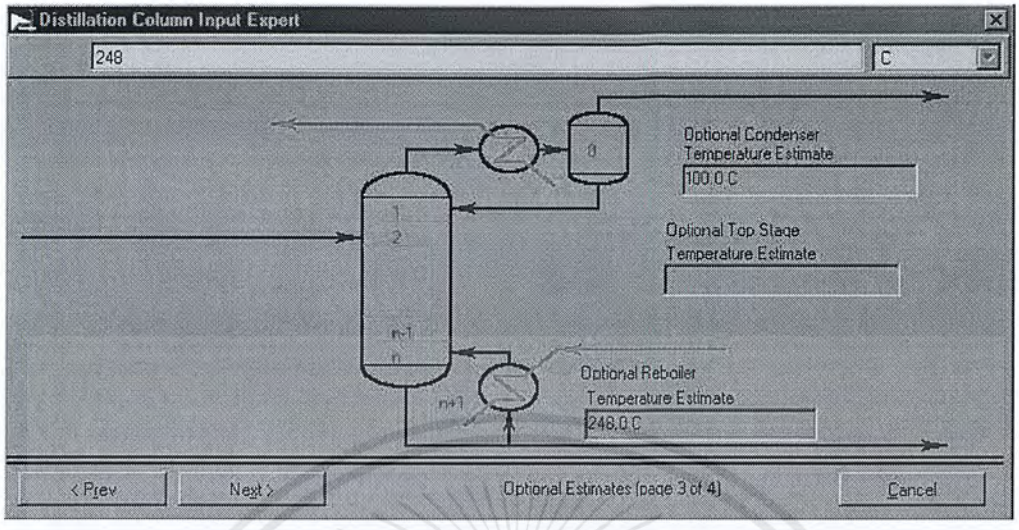


(ก)

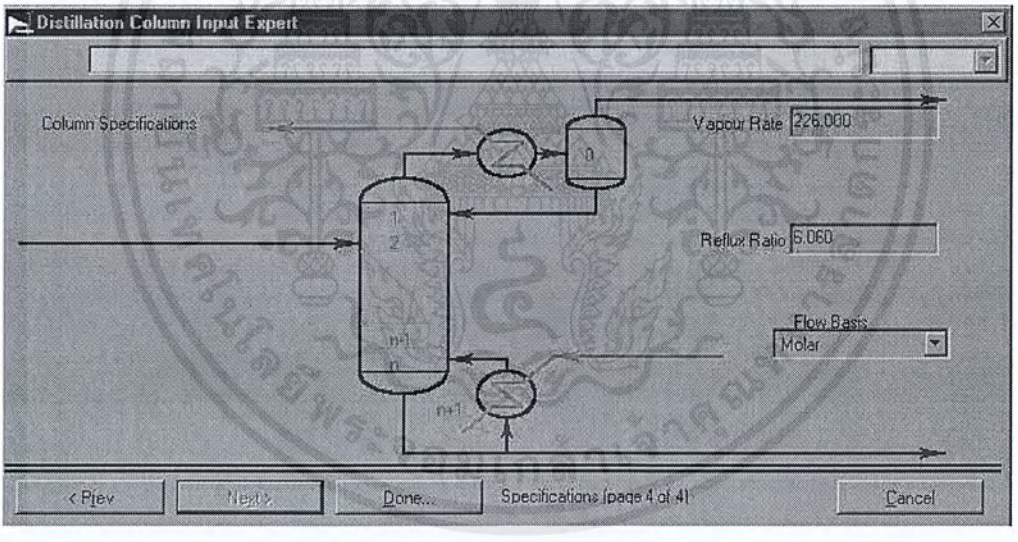


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



(ง)

รูปที่ 2.9 หน้า Connections ในหอกลั่น

(ก) การใส่ข้อมูลจำนวนชั้นของหอกลั่น กระแสต่างๆ

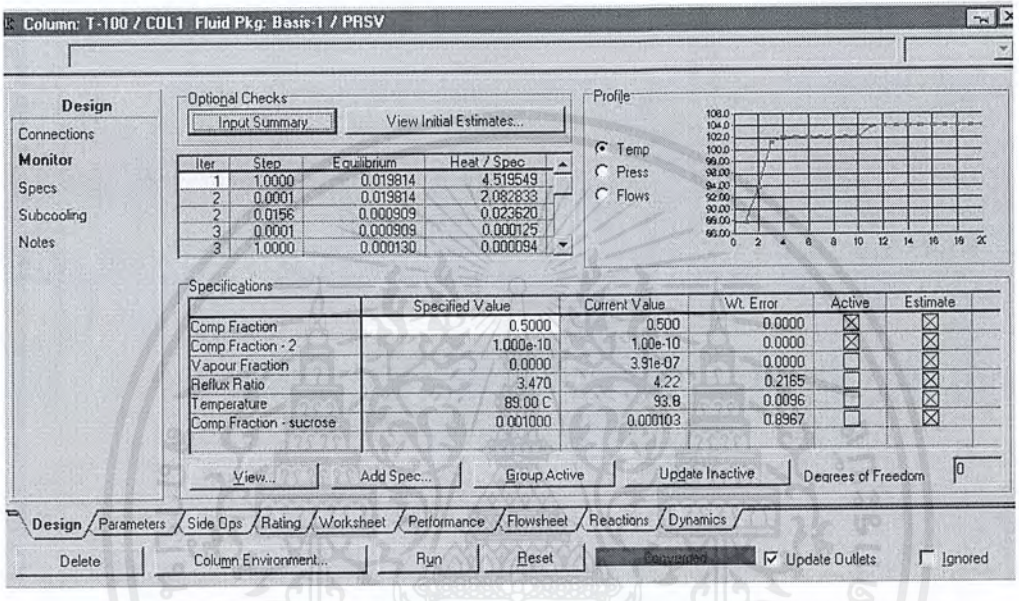
(ข) การใส่ข้อมูลความดัน ณ จุดต่างๆในหอกลั่น

(ค) การใส่ข้อมูลอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆในหอกลั่น

(ง) การใส่ข้อมูลอัตราการไหลของไอ Reflux Ratio ในหอกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 เปิดเข้าไปในหน้า Monitor จะมีการกำหนดค่าเฉพาะตัวของสารที่สำคัญเพื่อทำให้ degrees of freedom เป็น "0" โดยจะมีการแสดงผลการทดลองควบคุมตัวแปรต่างๆในแต่ละรอบ และสามารถแสดงผลของอุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหลของแต่ละองค์ประกอบในแต่ละชั้นของหอกลั่น โดยแสดงในรูปของกราฟ



รูปที่ 2.10 หน้า Monitor ในหอกลั่น

2.4.2 การติดตั้ง Heater, Cooler และ Heat Exchanger

2.4.2.1 Double click เข้าไปในเครื่องมือและเปิดหน้า Connections ป้อนชื่อของกระแสขาเข้า กระแสขาออกและกระแสพลังงาน

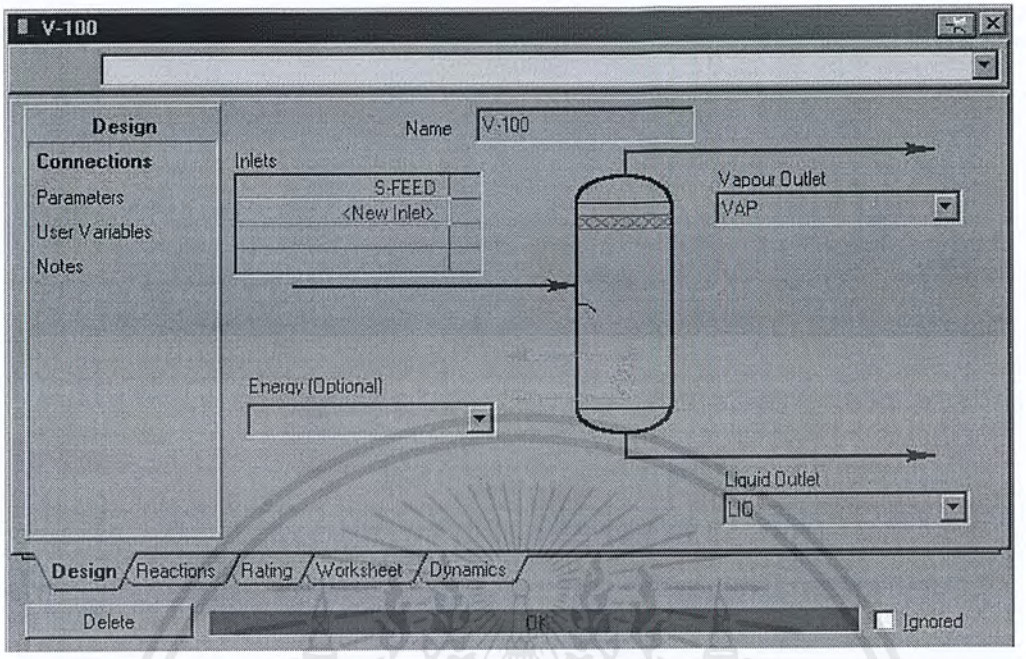
2.4.2.2 เปิดเข้าไปในหน้า Parameters เพื่อใส่ค่าความดันลด

2.4.3 การติดตั้ง Separator และ Reactor

2.4.3.1 Double click เข้าไปในเครื่องมือและเปิดหน้า Connections ป้อนชื่อของกระแสขาเข้า กระแสขาออกและกระแสพลังงาน

2.4.3.2 เปิดเข้าไปในหน้า Parameters เพื่อใส่ค่าความดันลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

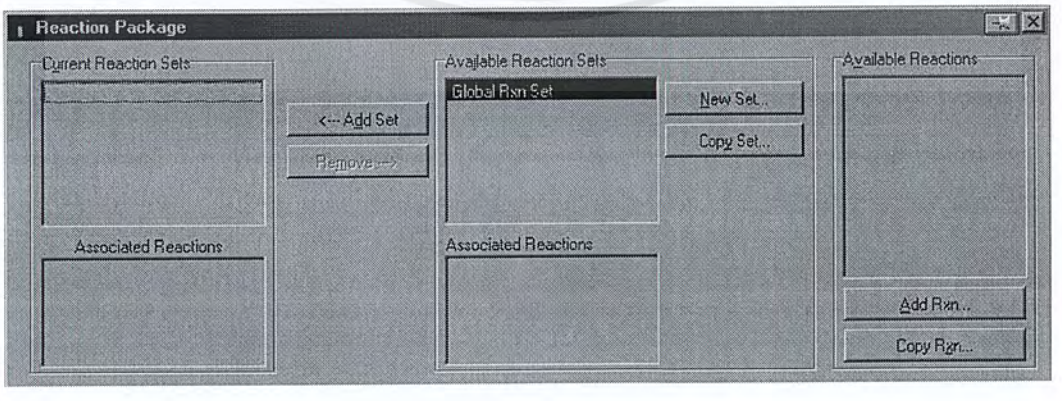


รูปที่ 2.11 เครื่องแยก

หมายเหตุ ในกรณีที่เป็น Reactor เราสามารถเรียก Reaction Set ที่สร้างไว้เข้ามาติดตั้งไว้ในเครื่องได้เลย

2.4.3.3 การสร้าง Reaction Set

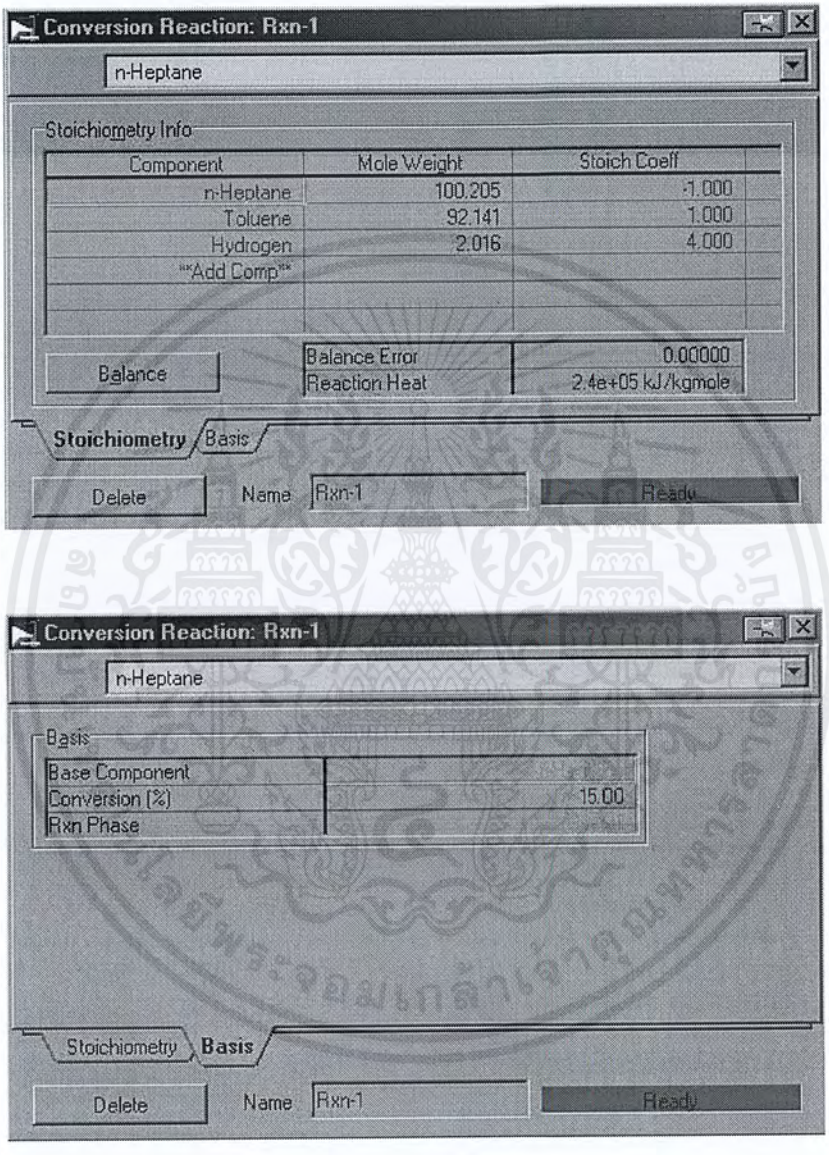
2.4.3.3.1 เข้าสู่ Basis Environment Manager แล้วเลือกหน้า Reaction แล้วกด Add Reaction เพื่อเลือกประเภทของการเกิดปฏิกิริยา



รูปที่ 2.12 หน้า Reaction Package

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

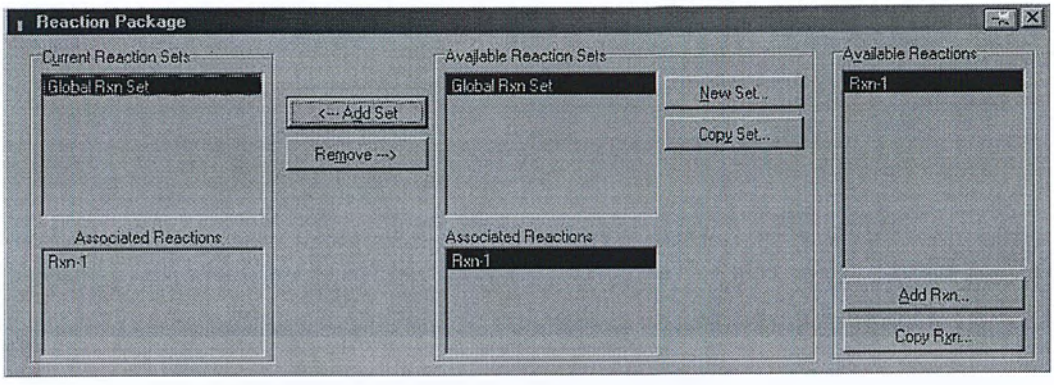
2.4.3.3.2 ใส่องค์ประกอบสารต่างๆเข้าไป พร้อมทั้งใส่ค่าสัมประสิทธิ์ในการเกิดปฏิกิริยา โดยกำหนดให้สารตั้งต้นมีค่าเป็นลบ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าเป็นบวก กดปุ่ม Balance



รูปที่ 2.13 การใส่ข้อมูลของสารที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา

2.4.3.3.3 กด Add Set of Reaction ในหน้าของ Reaction Package

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 หน้าจอเมื่อเสร็จสิ้นการกำหนดข้อมูล

2.4.3.3.4 เลือก Reaction ที่สร้างไว้ ติดตั้งลงไปใน set โดย Reaction ที่ต้องการให้เกิด จะต้องทำให้ปฏิกิริยานั้นอยู่ในรูป active

2.4.3.3.5 กดปุ่ม Add to Fluid Packages ในหน้าของ Reaction ทุกครั้งเพื่อแสดงว่าเสร็จสิ้นการกำหนดข้อมูลของปฏิกิริยานั้นๆแล้ว

2.4.3.3.6 จากนั้นเลือก Add ปฏิกิริยาลงใน Basis ของหน่วยการผลิตที่มีการใช้ปฏิกิริยานั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โรงนมผงสวนดุสิต

โรงนมผงสวนดุสิตเป็นโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้สร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2512 เพื่อผลิตนมผงจากนมสดที่รับซื้อจากสมาชิกผู้เลี้ยงโคนมเพื่อแก้ปัญหานมสดล้นตลาด โดยได้รับการควบคุมการออกแบบ การสร้าง ติดตั้งและทดสอบแก้ไขโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.)

3.1 การดำเนินการผลิต [3]

โรงนมผงสวนดุสิตได้ทำการทดลอง ปรับปรุงแก้ไขระบบต่างๆของการผลิต เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ โดยแปรสภาพนมสดให้เป็นนมผงที่มีคุณภาพดี รักษาคุณค่าทางอาหารมากที่สุด บริสุทธิ์และได้มาตรฐาน เพื่อให้ผู้ที่สนใจได้ทำการศึกษาและนำไปเป็นแบบอย่างให้สามารถดำเนินการแบบธุรกิจได้

ในการดำเนินการผลิตนมผงสามารถทำได้โดยอาศัยอุปกรณ์ต่างๆ และนอกเหนือจากการผลิตนมผงยังมีผลพลอยได้ที่เกิดระหว่างกระบวนการผลิตนมก็คือ ของเหลวควบแน่น (Condensate) ที่ผ่านเครื่องระเหยชนิด Falling-film ซึ่งมีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูงและมีปริมาณมากพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นน้ำกลั่น เพื่อใช้เติมแบตเตอรี่รถยนต์และใช้บริโภคเป็นน้ำดื่มได้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตนมผง [3]

1) เครื่องระเหยชนิด Double – effects tubular falling – film โดยในแต่ละ effect จะประกอบด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (Shell and tube heat exchanger) 1 เครื่องและเครื่องแยกสาร (Separator) อีก 1 เครื่อง
2) ถังคูลลิ่งแท้งค์ (Cooling tank)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3) ถังควบคุมระดับนม (Balance tank)

4) ถังพักนม (Holding tank)

5) โฮโมจีไนซ์เซอร์ (Homogenizer)

6) เครื่องอบแห้งแบบพ่น (Spray dryer)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานการผลิต [3]

มีอยู่ 5 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1. การเปิดเครื่องจักร การจัดเตรียมอุปกรณ์และวัตถุดิบ

เริ่มจากรับนมดิบ 4,000 – 5,000 กิโลกรัม จากบริษัท ผลิตภัณฑ์นมหนองโพ จำกัด ส่งเข้ามายังถังคูลลิ่งแท้งค์เพื่อที่จะส่งไปยังเครื่องชุดระเหยนมต่อไป แล้วเริ่มเปิดเครื่องจักรเดินเครื่องระเหยและจัดเตรียมอุปกรณ์ในการผลิต รวมทั้งการทำความสะอาด จากนั้นก็ทำการระเหยนมโดยใช้ชุดเครื่องระเหย แล้วดำเนินการผลิตไปตามกระบวนการที่กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 2. การระเหยน้ำนม

นมดิบจากคูลลิ่งแท้งค์จะถูกส่งไปที่ถังควบคุมระดับนมเพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำนมแล้วผ่านท่อส่งนมไปยังชุดระเหยนม ซึ่งชุดระเหยนมจะรับพลังงานไอน้ำจากหม้อต้มน้ำทำให้นมดิบได้รับความร้อนและเกิดการระเหยแยกน้ำกับเนื้อนมดิบออกจากกัน ซึ่งเป็นระบบการทำงานที่ต่อเนื่องหมุนเวียนตลอดเวลา

กระบวนการระเหยน้ำนมจะเริ่มจากทำให้นมมีอุณหภูมิสูงประมาณ 60 องศาเซลเซียสแล้วส่งต่อไปยังเครื่องระเหยนมเพื่อแยกน้ำออกจากนม หลังจากนั้นจึงส่งต่อไปยังถังพักนม ซึ่งจะมีการตรวจสอบวัดความเข้มข้นของของเหลวว่าอยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยถ้านมยังไม่ได้ความเข้มข้นตรงตามมาตรฐาน (ในการผลิตนมผงต้องมีเปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็งอยู่ในน้ำนมประมาณ 42 เปอร์เซ็นต์ และในการผลิตนมผงอัดเม็ดประมาณ 52 เปอร์เซ็นต์) จะต้องส่งนมนั้นย้อนกลับไปที่ถังควบคุมระดับนมอีกครั้ง แต่ถ้านมจากนั้นมีความเข้มข้นตรงตามมาตรฐานแล้วก็จะส่งนมนั้นไปยังถังผสมน้ำตาล ซึ่งจะผสมน้ำตาลทรายเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำนมดิบ 100 กิโลกรัม แล้วจึงส่งต่อไปยังถังพักนมเข้มข้นเพื่อเตรียมเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42396

ขั้นตอนที่ 3. การพ่นนม

ก่อนที่จะทำการพ่นนมจะต้องส่งนมที่เข้มข้นเข้าสู่โฮโมจีไนซ์เซอร์ เพื่อทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีหลักการคือนมที่อุ่นให้มีความร้อนพอเหมาะจะถูกอัดในกระบอกสูบด้วยความดันสูง ทำให้เม็ดไขมันนมซึ่งปกติมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 4 – 6 ไมครอน ถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงเพียง 0.2 – 2 ไมครอน ซึ่งจะทำให้แทรกตัวอยู่ในน้ำนมได้ทนทาน ไม่แยกตัวลอยขึ้นสู่ผิวบนเป็นชั้นครีมได้ง่ายและยังทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์บางอย่างเปลี่ยนแปลงไป

หลังจากนั้นจะต้องทำการวอร์มเตาลมร้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 45 นาที แล้วจึงจ่ายไอร้อนไปยังถังอบแห้งที่มีการอัดฉีดนมให้เป็นละอองนมด้วยเครื่องอัดแรงดันสูง เมื่อละอองนมโดนความร้อนในเครื่องอบแห้งแบบพ่นซึ่งมีอุณหภูมิ 103 - 108 องศาเซลเซียส นมจะกลายเป็นผง พัดลมด้านบนก็จะดูดนมผงไปสู่ถังดักนม แล้วจึงทำการบรรจุใส่ถุงพลาสติกเฉลี่ยประมาณถุงละ 30 กิโลกรัม

ขั้นตอนที่ 4. การล้างเครื่อง

เป็นขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเครื่องจักร อุปกรณ์และท่อส่งนมต่างๆ ที่สัมผัสกับนมดิบ เป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เนื่องจากถ้าล้างไม่สะอาดจะทำให้การระเหยนมในวันถัดไปไม่มีประสิทธิภาพ เศษนมเก่าๆจะไปเกาะติดตามท่อต่างๆ ทำให้การระเหยนมช้าและนมจะไม่ได้คุณภาพ ไม่สามารถนำไปผลิตเป็นนมผงเพื่อบริโภคได้ ก็จะนำไปทำเป็นอาหารสัตว์ ทำให้มูลค่าของนมผงที่ได้ลดลง 70 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนที่ 5. การส่งผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์นมผง

ถ้าเป็นนมผงที่ใช้ในการทำนมผงอัดเม็ดก็จะบรรจุใส่ถุงพลาสติกถุงละ 30 กิโลกรัม ซึ่งในแต่ละวันจะผลิตได้ประมาณ 560 – 700 กิโลกรัม แต่ถ้าเป็นนมผงบรรจุกระป๋องจะต้องมีการนำตัวอย่างนมผงที่ได้ไปตรวจสอบในเรื่องของการละลาย ค่าความชื้นและความสะอาด โดยถ้าตรวจสอบแล้วผลการตรวจสอบออกมาว่าผ่าน ก็จะทำการบรรจุนมผงลงกระป๋องและจัดส่งเข้าสต๊อกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

น้ำนม (MILK)

น้ำนม (Milk) หมายถึง ของเหลวสีขาวสะอาดบริสุทธิ์ที่รีดได้จากเต้านมของสัตว์ให้นม ได้แก่ โค กระบือ แพะ และแกะที่มีสุขภาพสมบูรณ์หลังจากคลอดลูกแล้วอย่างน้อย 72 ชั่วโมง หรือหลังจากหมดน้ำนมเหลืองหรือโคโลสตรัม (Colostrum) ประกอบด้วยไขมันไม่น้อยกว่า 3.25 เปอร์เซ็นต์ และส่วนของแข็งที่ปราศจากไขมันในน้ำนม (Milk–solid–non-fat : Snf) ไม่น้อยกว่า 8.25 เปอร์เซ็นต์ ไม่ว่าจะผ่านกระบวนการผลิตหรือไม่ก็ตาม

โคโลสตรัม บางครั้งเรียกว่า น้ำนมเหลือง เป็นน้ำนมที่รีดได้ในช่วงระหว่าง 15 วัน ก่อนสัตว์คลอดลูก และประมาณ 5 วันหลังจากคลอดลูกแล้ว เป็นน้ำนมที่มีกลิ่นแรง รสชาติขม มีสีเหลืองออกแดงและมีความเหนียวข้น ใช้เลี้ยงลูกอ่อนแรกเกิด

ส่วนของแข็งที่ปราศจากไขมันในน้ำนม (Milk–Solid–non-fat : Snf) หมายถึง องค์ประกอบของน้ำนมทั้งหมดไม่รวมน้ำกับน้ำมัน

ของแข็งในน้ำนม (Total solid :T_S) หมายถึง องค์ประกอบทั้งหมดของน้ำนมแต่ไม่รวมน้ำ

ซีรัม (Milk serum) หมายถึง องค์ประกอบทั้งหมดของน้ำนม ซึ่งไม่รวมไขมันและเคซีน (Casein)

หางนม (Skim milk) หรือนมขาดมันเนย หมายถึง น้ำนมที่ผ่านการแยกเอาไขมันออกแล้ว

การศึกษาองค์ประกอบของน้ำนมจะมีความสำคัญต่อการปฏิบัติต่อน้ำนม เป็นต้นว่า การเก็บรักษา การแปรรูปไปเป็นผลิตภัณฑ์นม การออกแบบเครื่องจักรและเครื่องมือ เพื่อความเหมาะสมต่อการผลิตและการแปรรูป เป็นต้น

ถ้าพิจารณาอย่างแท้จริงจะพบว่าน้ำนมเป็นสิ่งที่มีความซับซ้อน ประกอบด้วยสารประกอบเป็นร้อยๆชนิด องค์ประกอบบางชนิดถึงแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยแต่ก็มีบทบาทสำคัญในน้ำนม สามารถแบ่งน้ำนมออกเป็นส่วนใหญ่ๆ ได้ 2 ส่วน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. น้ำ มีอยู่ประมาณ 820 – 890 กรัมในน้ำนม 1000 กรัมเฉลี่ยประมาณ 87.2 เปอร์เซ็นต์

2. ส่วนที่เป็นของแข็งหรือธาตุน้ำนม (Total solid) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

2.1 ไขมันนมหรือมันเนย (Milk fat or Butter fat) มีอยู่ 3.7 เปอร์เซ็นต์

2.2 ธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนย (Solid-non-fat or Serum solid) มีอยู่ประมาณ 9.1 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต (น้ำตาลแลกโตส) วิตามิน และแร่ธาตุ

ปริมาณขององค์ประกอบหลักๆภายในน้ำนมมีความแตกต่างกันออกไป อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของพันธุ์วัวต่างๆและความแตกต่างของวัวแต่ละตัวที่เป็นพันธุ์เดียวกัน แต่ความแตกต่างขององค์ประกอบต่างๆนั้นก็จะอยู่ในช่วงที่จำกัดช่วงหนึ่งเท่านั้น

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบต่างๆภายในน้ำนม [4]

องค์ประกอบหลัก	ช่วงความแตกต่าง	ค่าเฉลี่ย
น้ำ	85.5 – 89.5	87.5
ส่วนของแข็ง	10.5 – 14.5	13.0
- ไขมัน	2.5 – 6.0	3.9
- โปรตีน	2.9 – 5.0	3.4
- แลกโตส	3.6 – 5.5	4.8
- แร่ธาตุต่างๆ	0.6 – 0.9	0.8

ค่า pH ของน้ำนมโดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5 – 6.7 แต่ค่าส่วนใหญ่ที่นิยมใช้คือ 6.6 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

4.1 ไขมันนม (Milk Fat) [4], [5]

ไขมันนมจะมีอยู่ประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์ของไขมันทั้งหมด นอกจากนั้นจะเป็นสารพวกฟอสโฟลิปิด สเตอรอล เม็ดสีและวิตามินที่ละลายในไขมัน และองค์ประกอบปลีกย่อยอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำนมและครีมเป็นตัวอย่างของไขมันในน้ำ (Fat-in-water or Oil-in-water) ซึ่งอยู่ในรูปของอิมัลชัน ไขมันนมจะอยู่ในรูปของโกลบูล (Globules) หรือหยดไขมันที่กระจายอยู่ในซีรัม โกลบูลจะมีช่วงของเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ 0.1 – 20 ไมโครเมตร (1 ไมโครเมตร = 10^{-6} เมตร) ขนาดเฉลี่ย 3-4 ไมโครเมตร และมีอยู่ประมาณ 150 ล้านโกลบูลต่อมิลลิลิเมตร สภาพอิมัลชันนี้จะสามารถเสถียรอยู่ได้ด้วยเยื่อหุ้มบางๆที่มีความหนาเพียง 5-10 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร = 10^{-9}เมตร) และรอบๆโกลบูลจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่ซับซ้อนจำแนกได้ยาก

ไขมันนมประกอบด้วยมอนอกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมัน สเตอรอย แคโรทีนอย (สีเหลืองที่อยู่ในไขมัน) วิตามิน A D E K และอื่นๆ โกลบูลของกรดไขมันแสดงดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 องค์ประกอบของไขมันนม ขนาด 0.1 – 20 ไมโครเมตร
ขนาดเฉลี่ย 3 – 4 ไมโครเมตร [4]

ความคงตัว (Stability) ของระบบเม็ดไขมันนม มีความสัมพันธ์กับพื้นผิวและสารประกอบที่ล้อมรอบเม็ดไขมัน คอลลอยด์ที่ล้อมรอบเม็ดไขมันนั้นเรียกว่า เยื่อหุ้มเม็ดไขมัน (Fat globule-membrane) เยื่อหุ้มเม็ดไขมันประกอบด้วยฟอสโฟลิปิด ไลโปโปรตีน แอลบูมิน เซเรโบรไซด์ เคซีน โปรตีน กรดนิวคลีอิก เอนไซม์ และสารอื่นๆ (โลหะ) และน้ำที่อยู่โดยรอบ องค์ประกอบและความหนาของเยื่อหุ้มจะไม่คงที่ เนื่องจากองค์ประกอบต่างๆสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามสิ่งแวดล้อมในซีรัม เยื่อหุ้มไขมันประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงจำนวนหลายชั้น ตามมาด้วยฟอสโฟลิปิดหนึ่งชั้น และต่อด้วยชั้นของโปรตีนอีกจำนวนหลายชั้น ชั้นนอกสุดสามารถหลุดออกมาได้ เนื่องจากเม็ดไขมันจะเข้าทำปฏิกิริยากับดีออกซีโคเลต (Deoxycholate) หรือสารซักฟอก (Detergent) ชั้นนอกของเยื่อหุ้มเม็ดไขมันจะยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรโฟบิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Hydrophobic) ส่วนชั้นในสามารถหลุดออกมาได้ยากกว่าชั้นนอกสุด และจำเป็นจะต้องใช้กรรมวิธีอื่นที่จะดึงชั้นเหล่านี้ให้หลุดออกมาได้ โปรตีนและฟอสโฟลิปิดจะกระจัดกระจายอยู่ในเยื่อชั้นในและชั้นนอกอย่างสม่ำเสมอกัน โปรตีนชั้นนอก (แต่ไม่ใช่ชั้นนอกสุด) เป็นส่วนที่ละลายน้ำได้ และเป็นโปรตีนประเภท "อิมมูโนโกลบิน" (Immunoglobins) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยเอนไซม์อีกหลายชนิด

4.1.1 ลักษณะของเยื่อหุ้มเม็ดไขมันนม

4.1.1.1 จะพบธาตุทองแดงในบริเวณชั้นนอกของเยื่อหุ้มเม็ดไขมัน ธาตุดังกล่าวมีผลต่อการเกิดกลิ่นรส

4.1.1.2 ฟอสโฟลิปิดบริเวณชั้นนอกของเยื่อหุ้มเม็ดไขมันประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นจำนวนมาก

4.1.1.3 เยื่อหุ้มเม็ดไขมันชั้นในและชั้นนอกยึดกันอย่างหลวมๆด้วยพันธะไม่มีขั้ว จึงทำให้ชั้นนอกหลุดออกได้ง่ายเมื่อได้รับแรงฉีก

4.1.1.4 ไขมันที่อยู่ในไลโปโปรตีนที่พบในน้ำนมจะประกอบด้วยกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

4.1.1.5 โปรตีนประเภทอิมมูโนโกลบินมีบทบาทสำคัญต่อพื้นผิวที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีของเยื่อหุ้มเม็ดไขมัน

โกลบูลของไขมันไม่เพียงแต่เป็นอนุภาคที่ใหญ่ที่สุดของน้ำนมเท่านั้น แต่ยังมีน้ำหนักเบาที่สุดด้วย (ความหนาแน่นที่ 15.5 องศาเซลเซียส = 0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ทำให้มีแนวโน้มที่จะขึ้นไปอยู่บนผิวของน้ำนม ดังรูป 4.2 แต่โกลบูลในไขมันถ้ามีขนาดเล็กจะมีลักษณะเป็นครีม ซึ่งกระบวนการเกิดจะเป็นไปอย่างช้าๆ

รูปที่ 4.2 ไขมันจะลอยอยู่เป็นชั้นหรือเป็นลักษณะครีมที่ผิวของของเหลว [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 บทบาทของฟอสโฟลิปิด

4.1.2.1 ฟอสโฟลิปิดเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Active) เนื่องจากฟอสโฟลิปิดจะกระจายอยู่รอบๆเม็ดไขมัน และทำให้ระบบน้ำนมมีความคงตัว ไม่เกิดการแยกชั้นได้ง่าย

4.1.2.2 ฟอสโฟลิปิดมีบทบาทสำคัญต่อกลิ่นและรสของน้ำนม เนื่องจากมีปริมาณกรด-ไขมันไม่อิ่มตัวสูง ง่ายต่อการถูกออกซิไดซ์จึงสามารถสร้างกลิ่นและรสในนมได้ง่าย

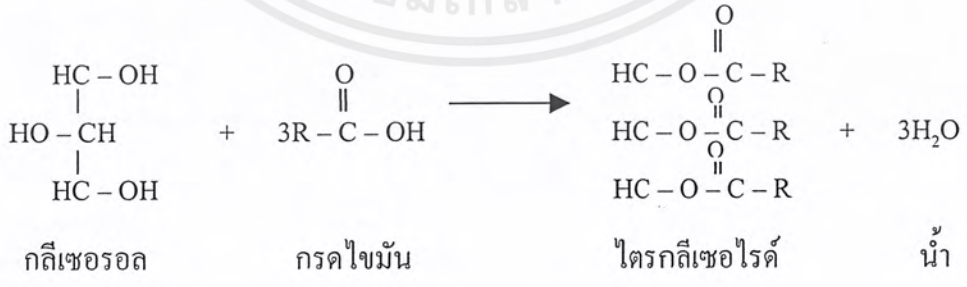
4.1.2.3 เมื่อดื่มนมจะมีความรู้สึกข้นมาก ทั้งนี้เนื่องจากไขมันและฟอสโฟลิปิด

4.1.3 โครงสร้างทางเคมีของไขมันนม

ไขมันนมจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส โกลบูลของไขมันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างง่ายเมื่อถูกแรงกระทำทางกล ไขมันทั้งหมดจัดอยู่ในประเภทเอสเทอร์ ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่างแอลกอฮอล์และกรด ไขมันนมเรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งประกอบด้วยแอลกอฮอล์ได้แก่ กลีเซอรอล และกรดไขมันชนิดต่างๆ กรดไขมันจะพบประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ในไขมันนม

4.1.3.1 ไตรกลีเซอไรด์

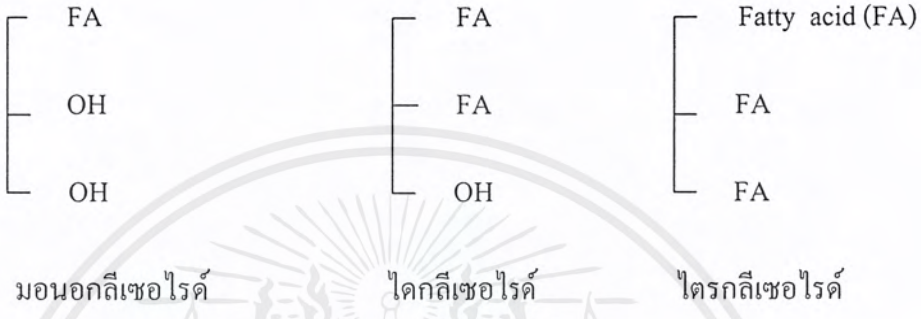
ไขมันจะประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งหนึ่งโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์จะประกอบด้วยหนึ่งโมเลกุลของกลีเซอรอล (Glycerol) และสามโมเลกุลของกรดไขมัน โดยกรดไขมันทั้งสามโมเลกุลจะเปลี่ยนไปเป็นเอสเทอร์ หรือทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับหนึ่งโมเลกุลของกลีเซอรอล ดังสมการ



รูปที่ 4.3 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำจัดกรดไขมันออกไปจำนวนหนึ่งหน่วยจากไตรกลีเซอไรด์ จะได้โมเลกุลที่เรียกว่า ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) หากกำจัดกรดไขมันออกไปสองหน่วยจะได้โมเลกุลของมอนอกลีเซอไรด์ (Monoglyceride)

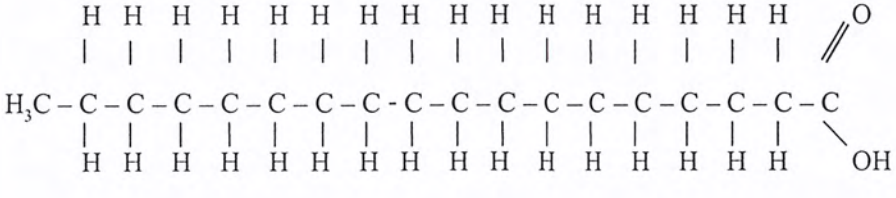


รูปที่ 4.4 มอนอกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ [5]

4.1.3.2 กรดไขมัน

จำนวนกรดไขมันที่แท้จริงทั้งหมดในน้ำนมยังไม่เป็นที่ทราบชัด เพราะระบบของไขมันนมมีความซับซ้อนกว่าไขมันชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากมีการตรวจพบไฮดรอกซีและกรด-ไขมันชนิดเคโตอยู่ด้วย ซึ่งทำให้ไขมันนมมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากไขมันชนิดอื่นๆ

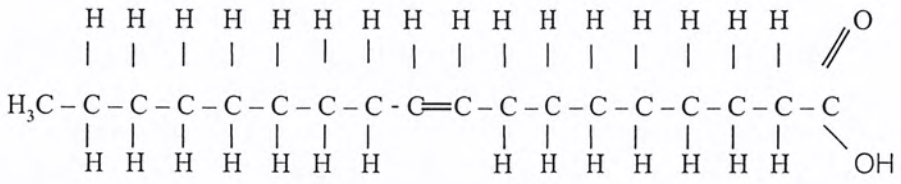
กรดไขมันสามารถแบ่งได้เป็น กรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว ในกรดไขมันชนิดอิ่มตัวทุกคาร์บอนอะตอมจะมีไฮโดรเจนอะตอมเกาะอยู่จนครบทุกแขน แต่ไม่รวมกลุ่ม (– COOH)



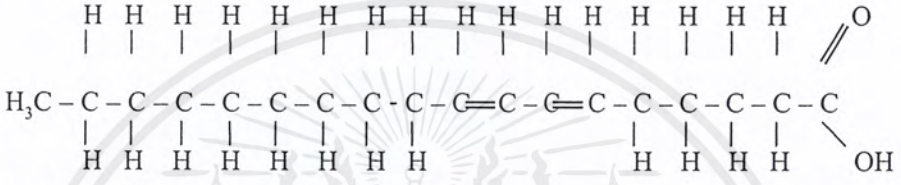
รูปที่ 4.5 สูตรโครงสร้างของกรดสเตียริก [5]

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะมีไฮโดรเจนอะตอมหายไป องศาของความไม่อิ่ม-ตัวเป็นสัดส่วนกับจำนวนคาร์บอนอะตอมที่สูญเสียไฮโดรเจนอะตอม (Dehydrogenation)

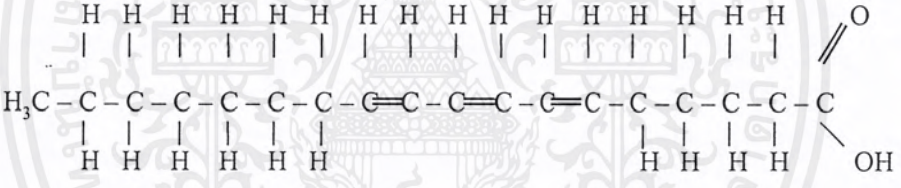
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Unsaturated



Di-unsaturated



Tri-unsaturated

รูปที่ 4.6 ชนิดของกรดไขมันไม่อิ่มตัว [5]

กรดไขมันส่วนใหญ่ในน้ำนมจะมีทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว มีองศาความไม่อิ่มตัวแตกต่างกันไปซึ่งทราบได้จากค่าไอโอดีน โดยเฉลี่ยแล้วไขมันประกอบด้วย กรดไขมันชนิดอิ่มตัว 60 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวแบบพันธะคู่เพียงคู่เดียว 38 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวแบบพันธะคู่มากกว่าหนึ่ง 2 เปอร์เซ็นต์ ชนิดของกรดไขมันที่ประกอบอยู่ในไขมันนมจะได้รับอิทธิพลมาจากอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ อาหารสัตว์ชนิดที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในปริมาณสูงโดยมากมักจะมีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในไขมันนมสูงตามไปด้วย สัดส่วนของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและชนิดไม่อิ่มตัวมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไขมัน ตลอดจนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและรสของน้ำนม ไขมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวประกอบอยู่ในปริมาณน้อยจะทำให้ได้เป็นไขมันแข็ง แต่ถ้าไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบอยู่มากจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ง่าย เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมักจะเกิดปฏิกิริยาที่เอนไซม์มาไฮโดรไลซิสทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นเหม็นหืน เช่น กรดบิวไทริก กรดคาไพรลิก และกรดคาพริก เป็นต้น

โมเลกุลของไขมันนมจะประกอบด้วย สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนและกลุ่มคาร์บอกซิล (สูตรเคมี R-COOH) กรดไขมันอิ่มตัว อะตอมคาร์บอนจะต่อเป็นสายโซ่ด้วยพันธะเดี่ยว ขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวอาจจะมีพันธะคู่หนึ่งคู่หรือมากกว่านั้นในสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน แต่ละโมเลกุลของกลีเซอรอลจะจับตัวกันด้วยกรดไขมัน 3 โมเลกุลและใน 3 โมเลกุลนั้นอาจจะไม่ได้เป็นชนิดเดียวกันก็ได้ ซึ่งในความเป็นจริงในน้ำนมจะมีชนิดของกลีเซอไรด์แตกต่างกันหลายชนิดมาก

4.1.4 จุดหลอมเหลวของไขมัน

จากตารางที่ 4.2 จะพบว่ากรดไขมันที่พบมากในน้ำนมมี 4 ชนิดได้แก่ กรดไมริสติก กรดพาลเมติก กรดสเตียริก และกรดโอเลอิก สามชนิดแรกจะเป็นของแข็ง ส่วนชนิดสุดท้ายจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ความแตกต่างของชนิดของกรดไขมันจะมีผลต่อความแข็ง (hardness) ของไขมัน ไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจำนวนมาก เช่น กรดพาลเมติกจะมีความแข็ง และเช่นกันถ้าไขมันมีกรดไขมันที่จุดหลอมเหลวสูงประกอบอยู่ในปริมาณมาก เช่น กรดโอเลอิก จะทำให้นิ่มเหมือนเนย

4.1.5 ค่าไอโอดีน (Iodine Value)

กรดไขมันที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนเหมือนกัน แต่จำนวนพันธะคู่กับเดี่ยวต่างกันจะทำให้มีลักษณะต่างกัน โดยวิธีการที่สำคัญและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการตรวจเพื่อบอกความแตกต่างของลักษณะเฉพาะของกรดไขมันแต่ละชนิดคือ การวัดหาค่าไอโอดีน (IV) ของไขมัน ค่าไอโอดีนจะเป็นเปอร์เซ็นต์ของไอโอดีนที่ไขมันสามารถเกิดพันธะได้ ไอโอดีนจะเข้าไปตรงพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพื่อแตกพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ชนิดของกรดไขมันที่สำคัญในไตรกลีเซอไรด์ของไขมันนม [4]

กรดไขมัน	เปอร์เซ็นต์ที่พบในไขมันทั้งหมด	จุดหลอมเหลว (°C)	จำนวนอะตอม			สถานะที่อุณหภูมิห้อง
			H	C	O	
กรดไขมันอิ่มตัว						
กรดบิวไทริก	3.0 – 4.5	-7.9	8	4	2	
กรดคาโพรอิก	1.3 – 2.2	-1.5	12	6	2	ของเหลว
กรดคาไพรลิก	0.8 – 2.5	+16.5	16	8	2	
กรดคาพริก	1.8 - 3.8	+31.4	20	10	2	
กรดลอริก	2.0 - 5.0	+43.6	24	12	2	
กรดไมริสติก	7.0 – 11.0	+53.8	28	14	2	
กรดพาล์มมิติก	25.0 – 29.0	+62.6	32	16	2	ของแข็ง
กรดสเตียริก	7.0 – 3.0	+69.3	36	18	2	
กรดไขมันไม่อิ่มตัว						
กรดโอเลอิก	30.0 – 40.0	+14.0	34	18	2	
กรดไลโนเลอิก	2.0 – 3.0	-5.0	32	18	2	
กรดไลโนเลนิก	up to 1.0	-5.0	30	18	2	ของเหลว
กรดอราชิโดนิก	up to 1.0	-49.5	32	20	2	

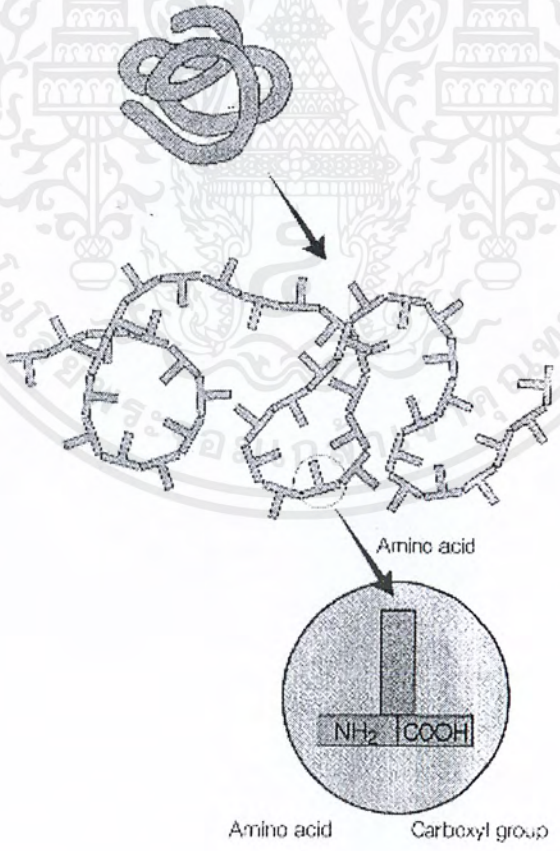
ค่าไอโอดีนของไขมันนมมักมีค่าอยู่ในช่วง 24 - 46 ความแตกต่างของค่าไอโอดีน สามารถกำหนดได้โดยชนิดของกรดไขมัน ซึ่งชนิดของกรดไขมันที่ประกอบอยู่ในไขมันนมจะได้รับอิทธิพลมาจากอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ เช่น ถ้าอาหารที่ใช้เลี้ยงเป็นหญ้าจะทำให้มีกรดโอเลอิกในน้ำนมมีปริมาณสูงทำให้ไขมันนมนิ่ม (IV สูง) แต่ถ้าเป็นอาหารแห้งที่ใช้ในคอกปศุสัตว์ ได้แก่ เมล็ดดอกทานตะวันหรือเมล็ดต้นป่านจะทำให้ได้ไขมันที่แข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 โปรตีนในน้ำนม [4], [5]

โปรตีนเป็นสารอาหารจำเป็นสำหรับร่างกายของคนเรา ระบบการย่อยและดับจะย่อยโปรตีนที่เรารับประทานเข้าไปให้เป็นสารอาหารที่มีขนาดเล็กเพื่อให้ร่างกายสามารถดูดซับไปใช้งานได้ ซึ่งสารอาหารเหล่านั้นจะถูกลำเลียงไปยังเซลล์ต่างๆภายในร่างกาย และใช้ในการซ่อมแซมร่างกายส่วนที่สึกหรอ โดยจะควบคุมปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตด้วยโปรตีนที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า "เอนไซม์"

โปรตีนเป็นสารโมเลกุลยักษ์ซึ่งสร้างขึ้นจากหน่วยเซลล์ขนาดเล็กที่เรียกว่ากรดอะมิโน ดังรูป 4.7 โมเลกุลของโปรตีนจะประกอบด้วยสายโซ่ของกรดอะมิโนที่เชื่อมกันคู่หนึ่งหรือมากกว่า ซึ่งโมเลกุลของโปรตีนสามารถมีกรดอะมิโนที่เชื่อมกันอยู่ได้ประมาณ 100 - 200 หน่วย



รูปที่ 4.7 โครงสร้างของกรดอะมิโน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 กรดอะมิโน

กรดอะมิโนดังรูปที่ 4.7 จะแสดงส่วนสำคัญในโมเลกุลของโปรตีนคือ กลุ่มอะมิโน (NH_2) กลุ่มคาร์บอกซิล โปรตีนจะเกิดจากกรดอะมิโนชนิดต่างๆ โดยที่จะมีกลุ่มอะมิโนและกลุ่มคาร์บอกซิลล้อมรอบที่อะตอมคาร์บอนเดียวกัน (เรียกว่า α-carbon)

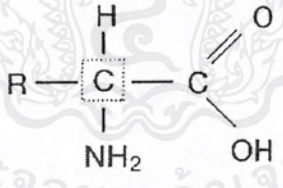
กรดอะมิโนเป็นกลุ่มของสารประกอบเคมีซึ่งสามารถเกิดเป็นไฮโดรเนียมไอออนได้ในสารละลายเบสและดูดซึมไฮโดรเนียมไอออนได้ในสารละลายกรด ซึ่งสารประกอบนี้จะเรียกว่าแอมโฟเทอไรท์ กรดอะมิโนสามารถอยู่ได้ 3 สภาวะ ได้แก่

4.2.1.1 ประจุลบในสารละลายเบส

4.2.1.2 เป็นกลางที่ประจุลบเท่ากับประจุบวก

4.2.1.3 ประจุบวกในสารละลายกรด

โปรตีนจะเกิดจากกรดอะมิโนประมาณ 20 ชนิด แต่ที่พบโปรตีนในนมจะมี 18 ชนิด ร่างกายของมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนได้เองประมาณ 20 ชนิด ซึ่งจำเป็นที่จะต้องใช้ในกระบวนการเผาผลาญอาหารภายในร่างกายสิ่งมีชีวิต มนุษย์จึงต้องได้รับโปรตีนมาจากอาหาร ซึ่งจะเรียกกรดอะมิโนเหล่านั้นว่า “กรดอะมิโนจำเป็น” ซึ่งสามารถหาได้จากนมทั้งหมด



รูปที่ 4.8 กลุ่มต่างๆภายในโมเลกุลโปรตีน [4]

จากรูป 4.8 กลุ่มต่างๆของโมเลกุลโปรตีนจะต่อกับสายโซ่ข้างเคียง (R) ถ้าสายโซ่ที่มาต่อมีขั้ว น้ำโดยรอบจะมีคุณสมบัติเป็นกรดและเบส และกรดอะมิโนจะละลายในน้ำได้อย่างรวดเร็ว จึงเรียกกรดอะมิโนนั้นว่ามีลักษณะเป็น ไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) และในอีกทางหนึ่ง ถ้าสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนไม่ได้มีอนุมูลไฮโดรฟิลิก สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนจะต่อต้านน้ำ กล่าวคือกรดอะมิโนจะละลายน้ำได้น้อย ซึ่งกรดอะมิโนชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ชนิดและความเข้มข้นโปรตีนชนิดต่างๆในนม [4]

ชนิดของโปรตีน	ความเข้มข้นในนม (g/kg)	เปอร์เซ็นต์ในโปรตีนนม
เคซีน		
α_{s1}-casein	10.0	30.6
α_{s2}-casein	2.6	8.0
K-casein	10.1	30.8
β-casein	3.3	10.1
รวมเคซีนทั้งหมด	26.0	79.5
โปรตีนเวย์		
α-lactalbumin	1.2	3.7
β-lactoglobulin	3.2	9.8
ซีรัม แอลบูมิน	0.4	1.2
อิมมูโนโกลบูลิน	0.7	2.1
อื่นๆ (รวมโปรติโอส-เปปโตน)	0.8	2.4
รวมโปรตีนเวย์ทั้งหมด	6.3	19.3
เยื่อหุ้มโกลบูลของไขมัน	0.4	1.2
รวมโปรตีนทั้งหมด	32.7	100

4.2.2 ประเภทของโปรตีนในน้ำนม

นมประกอบด้วยโปรตีนหลายร้อยชนิด ส่วนใหญ่จะมีปริมาณไม่มาก โปรตีนสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆได้ตามคุณสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ การแบ่งประเภทในสมัยเดิมจะแบ่งโปรตีนในน้ำนมออกเป็นเคซีน แอลบูมิน และโกลบูลิน จากตาราง 4.3 เป็นรายการโดยย่อของโปรตีนในน้ำนมตามระบบสมัยใหม่ กลุ่มโปรตีนส่วนน้อยจะสรุปไว้อย่างง่ายๆ โปรตีนเวย์หรือที่มักเรียกว่า ซีรัม (Milk-serum proteins) ซึ่งมักประกอบด้วยโมเลกุลของเคซีน ซีรัมบางครั้งความเข้มข้นต่ำกว่าในน้ำนมเริ่มแรกเพราะว่าการให้ความร้อนทำให้สูญเสียสภาพในระหว่างการทำพาสเจอไรซ์ในนมก่อนเข้ากระบวนการผลิตชีส โปรตีน 3 กลุ่มใหญ่ในนมจะมีความแตกต่างกัน

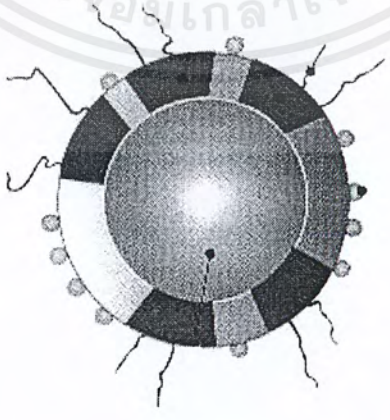
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างมากในด้านพฤติกรรมและรูปร่างที่คงตัว เคซีนสามารถตกตะกอนออกจากนมได้ง่ายหลายวิธี ขณะที่ซีรัมยังคงสามารถอยู่ในสารละลายได้

4.2.2.1 เคซีน

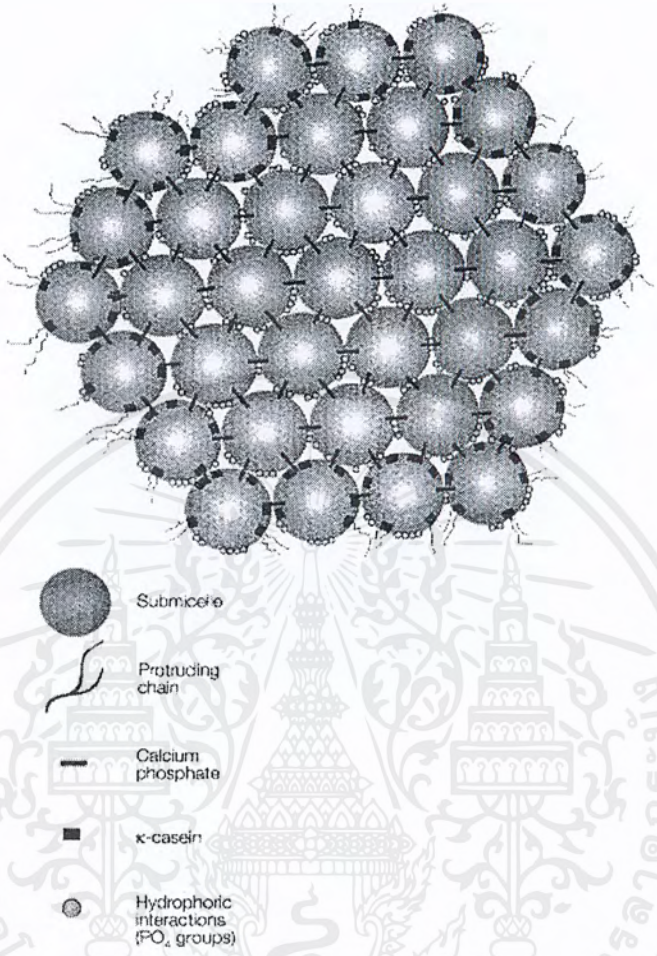
เคซีนเป็นโปรตีนประเภทหนึ่งในน้ำนม มีอยู่ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนนมทั้งหมด เคซีนเป็นโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลหลายชนิด ทำให้มีกลุ่มของไอออนไฮโดรโฟบิกและไฮโดรฟิลิกมากมายในโมเลกุลของเคซีน โพลิเมอร์ของเคซีนสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากการจับกันของโมเลกุลหลายพันโมเลกุล และจะอยู่ในสารละลายในลักษณะเป็นคอลลอยด์ ทำให้เกิดเป็นฝ้าที่มีสีขาวอมฟ้าจางๆอยู่ที่ผิวของน้ำนม เรียกโมเลกุลที่มีโครงสร้างซับซ้อนของเคซีนว่า "ไมเซลล์" แต่ละไมเซลล์มีขนาด 0.4 ไมครอน สามารถมองเห็นได้จากกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอน

กลุ่มย่อย 3 กลุ่มของเคซีนได้แก่ α_s-casein, K-casein และ β-casein ทั้งหมดจะเป็นวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous) และประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานที่แตกต่างกัน 2 - 8 ชนิด ซึ่งองค์ประกอบพื้นฐานต่างๆของโปรตีนจะแตกต่างกันเพียงแค่ส่วนของกรดอะมิโน 2 - 3 ชนิดเท่านั้น 3 กลุ่มย่อยที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะมีแนวโน้มที่กรดอะมิโน 1 - 2 ชนิดตรงกลุ่มของไฮดรอกซิลจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) ซึ่งกรดฟอสฟอริกนั้นจะจับตัวกับแคลเซียมและแมกนีเซียมหรือเกลือที่มีองค์ประกอบซับซ้อน และเกิดพันธะขึ้นทั้งภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุล



รูปที่ 4.9 องค์ประกอบของไมเซลล์ย่อย [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ไมเซลล์ [4]

รูปที่ 4.8 แสดงองค์ประกอบภายในไมเซลล์ย่อยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 - 15 นาโนเมตร α, β, κ-casein จะอยู่กันอย่างกระจัดกระจายภายในไมเซลล์ทำให้แต่ละไมเซลล์แตกต่างกัน รูปที่ 4.9 จะแสดงโครงสร้างของไมเซลล์ซึ่งประกอบด้วยไมเซลล์ย่อยที่ซับซ้อน

เกลือแคลเซียมของ α_s, β-casein เกือบจะไม่ละลายในน้ำได้เลยในขณะที่ κ-casein สามารถละลายได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ κ-casein มักจะอยู่ที่บริเวณผิวของไมเซลล์ จะได้ว่าแคลเซียม κ-เคซีนเนตจะหุ้มเคซีนอีก 2 ชนิดที่ไม่ละลายให้อยู่ภายในไมเซลล์ ทำให้ทั้งไมเซลล์สามารถอยู่ในน้ำได้ในลักษณะที่เป็นคอลลอยด์ แคลเซียมฟอสเฟตและปฏิกิริยาของไฮโดรโฟบิกระหว่างไมเซลล์ย่อยๆ ทำให้ไมเซลล์ของเคซีนสามารถอยู่รวมเป็นหนึ่งเดียวกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของไฮโดรฟิลิก คาร์บอนที่ตรงส่วนสุดท้ายของ K-casein จะต่อกับกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่มาจากภายนอกของไมเซลล์ที่ซับซ้อนทำให้มีลักษณธดูเหมือนกับเส้นผม แต่ที่สำคัญกว่านั้นคือ ช่วยทำให้ไมเซลล์มีความเสถียร ปรากฏการณ์นี้เป็นปรากฏการณ์พื้นฐานที่เกิดจากประจุลบที่แข็งแรงของคาร์โบไฮเดรต

ขนาดของไมเซลล์จะขึ้นอยู่กับปริมาณแคลเซียมไอออนที่บรรจุอยู่ ถ้าแคลเซียมออกจากไมเซลล์ในกระบวนการผลิตนมจะทำให้ไมเซลล์แตกออกเป็นไมเซลล์ย่อยๆ ไมเซลล์ขนาดปานกลางจะประกอบด้วยไมเซลล์ย่อยประมาณ 400 – 500 ไมเซลล์

ถ้าหากส่วนของไฮโดรฟิลิกที่คาร์บอนตัวสุดท้ายของ K-casein ที่อยู่บนผิวของไมเซลล์หลุดออกมาก จะทำให้สูญเสียไมเซลล์เนื่องจากเกิดการละลายลงไปรวมกับน้ำ และเกิดเป็น “ไขนม” ไมเซลล์ที่ยังคงอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์มักจะมีประจุลบที่เป็นส่วนเกินมาก ซึ่งจะต้านทานโมเลกุลอื่น โมเลกุลของน้ำจะจับกับส่วนของไฮโดรฟิลิกของ K-casein ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยในการทำให้โมเลกุลสมดุล ถ้าส่วนไฮโดรฟิลิกถูกกำจัดออกไป น้ำจะหลุดออกจากโครงสร้างส่วนของเกลือที่แคลเซียมกับส่วนของไฮโดรโฟบิกจะเกิดการสร้างพันธะกัน การเกิดพันธะนี้จะทำให้ไล่โมเลกุลน้ำออกไปมากขึ้นและโครงสร้างจะพังทลายในที่สุดกลายไปเป็นไขนม

ไมเซลล์จะได้รับผลกระทบในทางตรงข้ามที่อุณหภูมิต่ำ สายโซ่ β-casein เริ่มแตกออก และแคลเซียมไฮดรอกซีฟอสเฟตจะหลุดออกจากโครงสร้างไปอยู่ในลักษณะเป็นคอลลอยด์ในสารละลาย สามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้โดย β-casein ส่วนใหญ่จะเป็นเคซีนชนิดไฮโดรโฟบิกซึ่งปฏิกิริยาของไฮโดรโฟบิกจะอ่อนแอที่อุณหภูมิต่ำ การเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้น้ำนมไม่เหมาะในการทำผลิตภัณฑ์เนย ดังนั้นจะได้ไขนมที่อ่อนมากและใช้ระยะเวลานานในการ-ผลิต

4.2.2.2 โปรตีนเวย์

โปรตีนเวย์เป็นชื่อสามัญที่ใช้เรียกซีรัมของโปรตีนในน้ำนม โปรตีนเวย์เป็นชนิดที่มีความทนต่อกรดแต่ไม่ทนต่อความร้อน การพาสเจอไรซ์นมธรรมดาจะทำให้โปรตีนบางส่วนเสื่อมสภาพไป โปรตีนเวย์ประกอบด้วยหมู่ซัลเฟอร์ ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนถึงจุดเดือดจะเกิดเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ หมู่ซัลเฟอร์มีความไวต่อความร้อน มีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิ-แดนท์ที่แข็งแรง ดังนั้นผลิตภัณฑ์นมที่มีสารประกอบซัลเฟอร์ซึ่งเกิดเนื่องจากความร้อนนั้น มักไม่ค่อยเกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเคซีนถูกกำจัดออกจากฝ้าในน้ำนมโดยวิธีการตกตะกอน เช่น ใช้กรด แต่จะยังคงอยู่ในสารละลายเรียกซีรัมในน้ำนม

เมื่อน้ำนมได้รับความร้อน โปรตีนเวย์บางส่วนจะเปลี่ยนแปลงสภาพและจับกับเคซีนเป็นรูปแบบซับซ้อน ซึ่งจะไปลดความสามารถของเคซีนในการรวมกับแคลเซียม ไขนมจากน้ำนมจะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงแต่ก็ไม่สามารถปลดปล่อยโปรตีนเวย์ออกจากไขนมได้ เพราะสะพานที่เชื่อมโมเลกุลของเคซีนทั้งภายในและภายนอกมีจำนวนน้อยลง

โปรตีนเวย์มักใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง แบ่งเป็น [5]

4.2.2.2.1 β-lactoglobulin เป็นโปรตีนเวย์ที่อยู่ในสภาพของไดเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 36,000 แต่ละเส้นเปปไตด์จะมีกรดอะมิโนอยู่ประมาณ 136 หน่วย โดยที่แต่ละไดเมอร์จะมีลักษณะเป็นทรงกลมสองลูกติดกัน ไดเมอร์ไม่ละลายในน้ำกลั่นแต่ละลายได้ในสารละลายเกลือเจือจาง สามารถตกตะกอนโปรตีนชนิดนี้ได้ด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตและแอมโมเนียมซัลเฟต พบว่าโปรตีนชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ ถูกทำให้เสื่อมสภาพด้วยความร้อนได้ง่าย มีบทบาทสำคัญต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์นม

4.2.2.2.2 α-lactalbumin เป็นโปรตีนที่มีซัลเฟอร์ประกอบอยู่มากกว่าในเคซีนถึง 2.5 เท่า สามารถตกตะกอนได้ด้วยความร้อนในสภาวะที่เป็นกรด pH 4.5 ไม่พบว่ามีแมกนีเซียมประกอบอยู่เหมือนในเคซีน

4.2.2.2.3 อิมมูโนโกลบูลิน พบประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนเวย์ เป็นโปรตีนที่พบในโคโลสตรัมในปริมาณค่อนข้างสูง อิมมูโนโกลบูลินมีคุณสมบัติเป็นแอนติบอดี พบมากในส่วนของเยื่อหุ้มเม็ดไขมันเป็นโปรตีนที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำนมดิบ

4.2.2.2.4 ซีรัมแอลบูมิน มีลักษณะคล้ายกับแอลบูมินของซีรัมในเลือด ประกอบด้วยซัลเฟอร์อยู่มาก ถูกทำให้เสื่อมสภาพไปบางส่วนเมื่อน้ำนมผ่านการพาสเจอไรซ์

4.2.2.3 เอนไซม์ในน้ำนม

เอนไซม์จัดอยู่ในกลุ่มโปรตีนที่สร้างโดยสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีความสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมี มีผลกระทบต่อทิศทางการเกิดและความเร็วของการเกิดปฏิกิริยา โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเอนไซม์ เอนไซม์เป็นสารใช้ไม่มีวันหมด บางครั้งเรียกว่า "ตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ" ถ้าเอนไซม์ที่มีการทำงานเฉพาะเจาะจง เอนไซม์ชนิดนั้นจะเร่งปฏิกิริยาเพียงปฏิกิริยาเดียว การทำงานของเอนไซม์สามารถจะถูกยับยั้งหรือทำลายได้ด้วยความร้อน เอนไซม์ต่างชนิด-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันจะมีความทนทานต่อความร้อนได้ต่างกัน ในทางเคมีแล้วเอนไซม์เป็นสารประกอบประเภทโปรตีน

ตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์คือ อุณหภูมิ และ pH เป็นช่วงๆ ช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์คือ 25 – 50 องศาเซลเซียส และจะทำงานได้ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากจุดเหมาะสมและจะหยุดลงเมื่ออุณหภูมิระหว่าง 50 – 120 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมบางชนิดจะทำงานได้ดีในสารละลายกรดแต่บางชนิดทำงานได้ดีในสิ่งแวดล้อมที่เป็นเบส

เอนไซม์ในน้ำนมได้มาจากทั้งวัวและแบคทีเรีย ซึ่งจะเรียกว่า Original enzyme และ Bacterial enzyme ซึ่งแตกต่างกันตามชนิดและขนาดของแบคทีเรีย เอนไซม์ทั้งหลายในน้ำนมจะได้รับการตรวจสอบและควบคุม

สามารถแบ่งกลุ่มของเอนไซม์ในระบบน้ำนมได้ดังนี้ [5]

4.2.2.3.1 เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) ได้รับการถ่ายเทออกซิเจนจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน เอนไซม์ชนิดนี้จะไม่ทำงานถ้าหากน้ำนมถูกให้ความร้อนจนเกิน 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาเพียงแค่ 2-3 วินาที หรือหากมีการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส

4.2.2.3.2 โปรตีเอส (Protease) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายโมเลกุลของโปรตีนได้เป็นเปปโตน (Peptone) กรดอะมิโน และแอมโมเนีย

4.2.2.3.3 คาร์โบไฮเดรส (Carbohydrases) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรต

4.2.2.3.3.1 แลคเตส (Lactase) ทำหน้าที่ย่อยสลายน้ำตาลแลกโตส

4.2.2.3.3.2 อะไมเลส (Amylase) ทำหน้าที่ย่อยสลายแป้ง

4.2.2.3.3.3 อะโดเลส (Adolase) ทำหน้าที่ย่อยสลายโมเลกุลของ Hexose 1-6-diphosphate

4.2.2.3.4 เอนไซม์ออกซิเดส/รีดักเตส (Oxidases/reductases) ได้แก่ แคตาเลส (Catalase) แซนทีนออกซิเดส (Xanthine oxidase) และกลูตาไทโอนรีดัคเตส (Glutathiione-reductases)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคตาเลส ซึ่งสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปเป็นน้ำและออกซิเจน จะใช้ตรวจสอบโรคที่เกิดในวัว น้ำนมที่ได้จากสัตว์ที่เป็นโรค (เจ็บป่วย) จะมีเอนไซม์แคตาเลสในปริมาณสูงมีแบคทีเรียหลายชนิดที่สามารถผลิตเอนไซม์ชนิดนี้ขึ้นมาได้ ถ้าให้ความร้อนที่ 75 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 วินาที จะเป็นการทำลายแคตาเลส และสามารถยับยั้งการทำงานได้ด้วยกรด

4.2.2.3.5 เอสเตอเรส (Esterase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายเอสเทอร์ของกรด

4.2.2.3.5.1 แอลฟาเอสเตอเรส (α-esterase) สามารถไฮโดรไลซ์สารประกอบเฟนิลอะซีเตต แต่ไม่สามารถย่อยสลายไตรบิวทีริน

4.2.2.3.5.2 ไลเปส (β-esterase) ทำหน้าที่ย่อยสลายไขมัน จะไปแตกไขมันในกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระออกจากกัน เอนไซม์นี้จะเสื่อมสภาพเมื่อผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิสูง จุลินทรีย์สามารถสร้างเอนไซม์ชนิดนี้ได้ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาเอนไซม์จะต้านทานความร้อนสูงมาก

4.2.2.3.5.3 แกมมาเอสเตอเรส (γ-esterase) สามารถไฮโดรไลซ์เฟนิลโพรพิโอเนต

4.2.2.3.5.4 ฟอสฟาเตส (Phosphatase) มีความสามารถในการแตกโมเลกุลเอสเทอร์ของกรดฟอสฟอริกและทำให้เกิดเป็นแอลกอฮอล์ เอนไซม์ชนิดนี้จะถูกทำลายโดยการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 - 20 วินาที

เอนไซม์ที่มีความสำคัญในทางการค้า ได้แก่ ฟอสฟาเตส ซึ่งสามารถใช้บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการพาสเจอไรเซชันได้ ไลเปสเป็นเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดกลิ่นหืน นอกจากนี้เอนไซม์แคตาเลสยังเป็นดัชนีที่บ่งบอกว่าน้ำนมที่ได้จากแม่วัวที่เป็นโรคเต้านมอักเสบหรือไม่ ส่วนเอนไซม์โปรตีเอสมีผลต่อการสลายตัวของโปรตีนในผลิตภัณฑ์นมที่เก็บไว้เป็นเวลานานๆ

4.3 แลกโตส (Lactose) [4]

เป็นน้ำตาลที่พบในนมโดยเฉพาะ เป็นสารประกอบเคมีอินทรีย์ที่เรียกว่า คาร์โบไฮเดรต คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งกำเนิดปฏิกิริยาที่ต้องการ คาร์โบไฮเดรตจะจัดส่งวัตถุดิบที่จำเป็นเพื่อสังเคราะห์สารประกอบทางเคมีที่จำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งจะปรากฏในกล้ามเนื้อ (Muscle glycogen) และในตับ (Liver glycogen)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แลกโตสเป็นคาร์โบไฮเดรตหลัก และยังพบสารประกอบอื่นๆ เช่น ซีรีโบรไซด์ กาแลกโตส กลูโคส และซูโครสในปริมาณเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลอะมิโน เช่น อะเซติลแลกโตซามีน เฮกโซซามีน และโอลิโกแซกคาไรด์ สารประกอบเหล่านี้ถึงแม้จะพบในปริมาณเล็กน้อยแต่ก็มีบทบาทสำคัญต่อน้ำนม เช่น มีผลต่อกลิ่นของน้ำนมในกระบวนการให้ความร้อน

ไกลโคเจนเป็นตัวอย่างของคาร์โบไฮเดรตที่มีมวลโมเลกุลสูงมาก ตัวอย่างอื่นๆ ได้แก่ เซลลูโลสและแป้ง (Starch) สารที่ประกอบขึ้นเป็นคาร์โบไฮเดรตคือ โพลิแซกคาไรด์ (Polysaccharides) ที่มีโมเลกุลกลูโคสหลายโมเลกุลมารวมกัน ในโมเลกุลของไกลโคเจนและแป้งมักจะมีกิ่งก้าน ขณะที่ในเซลลูโลสจะมีรูปแบบเป็นสายโซ่ยาวตรง

แลกโตสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่หรือเรียกว่าไดแซกคาไรด์ คาร์โบไฮเดรตจะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือมอนอแซคคาไรด์ (Monosaccharide) 2 ชนิด เช่น โมเลกุลของแลกโตส (พบได้ในน้ำนม) เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่มีโมเลกุลของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิดคือ กลูโคสและกาแลกโตส ส่วนน้ำตาลซูโครส (พบได้ในอ้อยหรือหัวบีท) ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด ได้แก่ ฟรุกโตสและกลูโคส แลกโตสที่พบในน้ำนมเป็นโมเลกุลของ 2 ไอโซเมอร์ คือ แอลฟา (α) และบีตา (β) ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณแลกโตสที่มีในน้ำนม

แลกโตสจะละลายในน้ำคือโมเลกุลจะละลายอยู่ในน้ำนม โดยแลกโตสจะละลายอยู่ในโปรตีนเวย์ การระเหยของโปรตีนเวย์ในอุตสาหกรรมจะเพิ่มความเข้มข้นของแลกโตส แลกโตสจะไม่หวานเหมือนน้ำตาลชนิดอื่นคือ จะหวานน้อยกว่าน้ำตาลอ้อยประมาณ 30 เท่า

4.4 วิตามินในน้ำนม [4]

วิตามินเป็นสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้นน้อยมากในพืชและสัตว์ แต่ว่ามีความจำเป็นต่อกระบวนการในการดำรงชีวิตประจำวัน องค์ประกอบทางเคมีของวิตามินมักมีความซับซ้อนแต่วิตามินส่วนใหญ่เป็นที่รู้จักแล้วในปัจจุบัน

น้ำนมมีวิตามินอยู่หลายชนิดที่รู้จักดีคือ A, B, B_2, C และ D วิตามิน A และ D ละลายในไขมันหรือสารละลายไขมัน ขณะที่วิตามินชนิดอื่นสามารถละลายในน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 แร่ธาตุและเกลือในน้ำนม [4]

น้ำนมจะบรรจุด้วยแร่ธาตุจำนวนมากมาย ความเข้มข้นโดยรวมน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ เกลือแร่จะเกิดขึ้นในสารละลายซีรัมในน้ำนมหรือในสารประกอบเคซีน เกลือที่สำคัญได้แก่ แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งจะเกิดร่วมกับฟอสเฟตคลอไรด์ ซิเตรต และเคซีเนต เกลือโพแทสเซียมจะมีอยู่ในนมเป็นจำนวนมากที่สุด จำนวนเกลือที่ปรากฏในน้ำนมจะมีค่าไม่คงที่ ถ้ามีโซเดียมคลอไรด์บรรจุอยู่ในปริมาณมากทำให้น้ำนมมีรสเค็ม

4.6 องค์ประกอบอื่นๆในน้ำนม [4]

น้ำนมมักมีโซมาทิกเซลล์ (เม็ดเลือดขาว : White blood corpuscle หรือ Lecucocytes) ถ้าในสัตว์ที่มีสุขภาพดีจะให้น้ำนมที่มีโซมาทิกเซลล์ต่ำกว่า 200,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร แต่อาจมากกว่า 400,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ได้

น้ำนมมักมีก๊าซอยู่ 5 – 6 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของน้ำนมสด แต่เมื่อเข้าสู่กระบวนการจะมีก๊าซสูงขึ้นถึง 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ก๊าซนั้นมักเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนและออกซิเจน ซึ่งจะอยู่ในนมได้ 3 สภาวะคือ

4.6.1 ละลายในน้ำนม

4.6.2 อยู่ภายในและไม่แยกจากน้ำนม

4.6.3 กระจายอยู่ในน้ำนม

การกระจายและการละลายของก๊าซ เป็นปัญหาในกระบวนการผลิตน้ำนม จึงมีแนวโน้มที่จะแผ่พื้นผิว (ให้ความร้อนที่ผิวนม) เพื่อกำจัดก๊าซที่มีปริมาณมากเกินไปออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การระเหย (Evaporation)

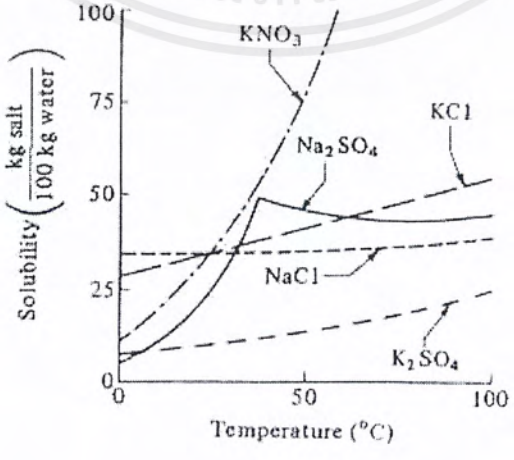
5.1 ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการระเหย [6]

5.1.1 ความเข้มข้นในสารละลาย

ส่วนมากสารละลายที่ป้อนเข้าเครื่องระเหยจะเป็นสารละลายเจือจาง ดังนั้นจึงมีความหนืดต่ำจนมีค่าใกล้เคียงกับน้ำ และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนค่อนข้างสูง เมื่อเกิดการระเหยสารละลายจะมีความเข้มข้นและความหนืดมากขึ้น ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลง ถ้าไม่ต้องการให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลงหรือลดลงน้อยมากจะต้องมีการไหลวนหรือทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนที่เพียงพอ

5.1.2 ค่าการละลาย

เมื่อสารละลายได้รับความร้อนจะทำให้มีค่าการละลายเพิ่มขึ้น เมื่อสารละลายมีค่าการละลายเกินค่าค่าหนึ่งจะเกิดการตกผลึก ที่ค่าค่านี้เป็นค่าความเข้มข้นที่มากที่สุดที่สามารถระเหยได้ ส่วนมากค่าการละลายของสารละลายพวกเกลือจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งหมายความว่าเมื่อลดอุณหภูมิสารละลายเข้มข้นลงจนถึงอุณหภูมิห้องจะเกิดการตกผลึก



รูปที่ 5.1 กราฟค่าการละลายของเกลือบางชนิดในน้ำ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 ความไวต่ออุณหภูมิของสาร

ผลิตภัณฑ์หลายชนิด โดยเฉพาะอาหารและสารทางชีวภาพจะมีความไวต่ออุณหภูมิและจะเกิดเสียหายเมื่อใช้ที่อุณหภูมิสูงหรือหลังจากที่ได้รับความร้อนเป็นเวลานาน เช่น ผลิตภัณฑ์ยา ผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น นม น้ำส้ม น้ำที่สกัดจากผัก และพวกสารเคมีอินทรีย์ ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิและเวลา

5.1.4 การเกิดโฟมหรือฟอง

ในสารละลายบางชนิดจะประกอบด้วยสารละลายด่างหรือสารละลายที่มีสารอาหาร เช่น นม และสารละลายกรดไขมันบางชนิดจะเกิดโฟมหรือฟองที่ผิวหน้าของสารละลายเมื่อสารเดือด โฟมนี้ประกอบด้วยไอที่ได้จากการระเหย และอาจมีของเหลวหลุดผสมออกมาด้วย

5.1.5 ความดันและอุณหภูมิ

จุดเดือดของสารละลายจะสัมพันธ์กับความดันของระบบ เมื่อระบบมีความดันเพิ่มขึ้นจะทำให้จุดเดือดของสารละลายเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดการระเหยจะทำให้จุดเดือดของสารละลายเพิ่มขึ้นด้วย ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Boiling-point rise สำหรับสารที่มีความไวต่ออุณหภูมิ จะต้องทำที่อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เช่น การทำภายใต้สุญญากาศ

5.1.6 การเกิดตะกรัน

ในบางสารละลายเมื่อทำการระเหยไประยะหนึ่งจะเกิดคราบตะกรันเกาะที่ผิวของท่อ มีผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลง จึงต้องมีการทำความสะอาดเครื่องระเหย และสารที่ใช้ในเครื่องระเหยจะต้องเป็นสารที่มีการกัดกร่อนน้อยมาก

5.2 จุดประสงค์ของการใช้กระบวนการระเหยในโรงงานอุตสาหกรรม [7]

5.2.1 เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย

5.2.2 เพื่อตกผลึกของสารละลาย

5.2.3 เพื่อทำให้ไอของก๊าซกลับเป็นของเหลวเพื่อประโยชน์ในการเก็บและการขนส่ง

5.2.4 เพื่อทำของไหลให้มีความบริสุทธิ์

5.2.5 เพื่อทำให้เกิดการหล่อเย็นและการทำให้แข็งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทำให้เป็นสารละลายเข้มข้นและใช้ในการตกผลึกจะเรียกว่า เครื่องระเหย และจะถูกออกแบบมาเพื่อให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและของแข็ง ส่วนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ออกแบบมาสำหรับการผลิตก๊าซจะเรียกว่า เครื่องผลิตก๊าซ (Vapor generator) และการใช้กระบวนการระเหยเพื่อทำให้สารมีอุณหภูมิลดลงจะเรียกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ว่า เครื่องหล่อเย็นหรือเครื่องแช่เย็น ซึ่งส่วนมากจะใช้กับของไหลที่มีคุณสมบัติของวัตถุที่อุณหภูมิต่ำ

5.3 ชนิดของเครื่องระเหย [6]

การระเหยจะทำโดยให้ความร้อนกับสารละลาย เพื่อให้ตัวทำละลายซึ่งส่วนมากจะเป็นน้ำระเหยออกมา โดยความร้อนที่ให้กับสารละลายส่วนมากจะได้จากความร้อนที่ได้จากไอน้ำอิ่มตัวควบแน่นกลายเป็นน้ำ ซึ่งอยู่ที่พื้นผิวสัมผัสด้านหนึ่ง ส่วนสารละลายที่ต้องการให้ระเหยจะอยู่อีกด้านหนึ่ง เช่น การทำให้เป็นสารละลายเข้มข้นของน้ำตาล โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ กลีเซอรอล นม และน้ำส้ม ในกรณีนี้สารละลายเข้มข้นจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ น้ำที่ระเหยออกมาไม่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ อาจทิ้งไปหรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นต่อไป แต่ก็มีบางกรณีที่น้ำที่ระเหยออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น การระเหยน้ำทะเลเพื่อให้ได้น้ำดื่ม หรืออาจเป็นการทำให้เป็นสารละลายเข้มข้นเพื่อให้เกิดการตกผลึก เช่น การตกผลึกของเกลือ

ถ้าแบ่งเครื่องระเหยตามลักษณะของพื้นผิวสัมผัสในการถ่ายเทความร้อน และการมีการกวนหรือการไหลของของเหลวหรือไม่ แบ่งตามทั่วๆไป ได้เป็น

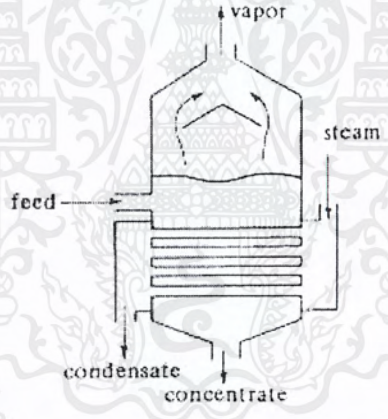
5.3.1 Open kettle or Pan

เป็นแบบที่ง่ายที่สุดของเครื่องระเหย ประกอบด้วยกระทะก้นแบนหรือกาน้ำเป็นพื้นผิวสัมผัสให้สารละลายเดือด โดยได้รับความร้อนจากความร้อนที่ได้จากการควบแน่นของไอน้ำอิ่มตัวที่อยู่ในคอยล์ที่จุ่มอยู่ในสารละลาย ในบางกรณีอาจได้รับความร้อนจากไฟโดยตรง เครื่องระเหยชนิดนี้มีราคาไม่แพงและง่ายในการดำเนินการ แต่จะใช้ความร้อนที่ได้ไม่เต็มที่ บางกรณีอาจใช้ใบกวนช่วยกวนสารละลายด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 Horizontal-tube natural circulation evaporator

เครื่องระเหยชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 5.2 โดยจะมีมัดของท่ออยู่ภายในเครื่องระเหย ไอน้ำจะไหลเข้าภายในท่อแล้วเกิดการควบแน่น น้ำที่ได้จากการควบแน่นจะไหลออกจากท่ออีกด้านหนึ่ง สารละลายจะอยู่นอกท่อ เมื่อเกิดการระเหยไอจะออกจากผิวของของเหลวไปยังบัฟเฟิลเพื่อป้องกันไม่ให้หยดของเหลวหลุดไปกับไอทางด้านบนด้วย เครื่องระเหยชนิดนี้มีราคาค่อนข้างถูกและใช้กับของเหลวที่ไม่มีความหนืดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงและเป็นสารละลายที่ไม่มีการตกตะกอนหรือไม่มีตะกรันเกิดขึ้น เนื่องจากเครื่องระเหยชนิดนี้มีการไหลวนของสารละลายที่ไม่ดี จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้กับสารละลายที่มีความหนืด เครื่องระเหยชนิดนี้และชนิดอื่นที่จะกล่าวต่อไปส่วนมากจะดำเนินการแบบต่อเนื่อง โดยสารละลายที่ป้อนเข้าและสารละลายเข้มข้นที่ออกมาจะมีอัตราการไหลที่คงที่



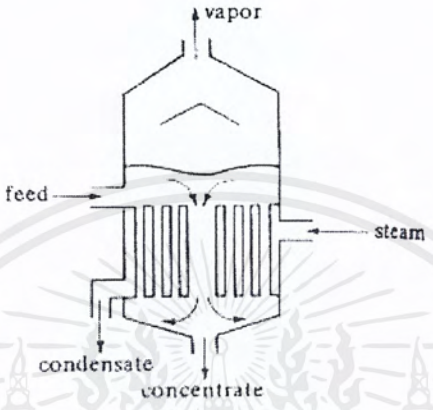
รูปที่ 5.2 Horizontal-tube natural circulation evaporator [6]

5.3.3 Vertical - type natural circulation evaporator

เครื่องระเหยชนิดนี้สารละลายจะไหลภายในท่อ และไอน้ำจะควบแน่นด้านนอกของท่อ เนื่องจากไอเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นจะลดลง ทำให้ไอที่ได้จากการระเหยไหลขึ้นด้านบนของท่อ หรือที่เรียกว่าเกิด Natural circulation ส่วนสารละลายเข้มข้นจะไหลลงด้านล่างไปสู่ Downcomer ดังแสดงในรูปที่ 5.3 การเกิดการไหลวนตามธรรมชาติ (Natural circulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเครื่องระเหยชนิดนี้อาจเรียกว่า Short – tube-evaporator และจะไม่ใช้กับของเหลวที่มีความหนืด ส่วนมากใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล เกลือ และโซดาไฟ

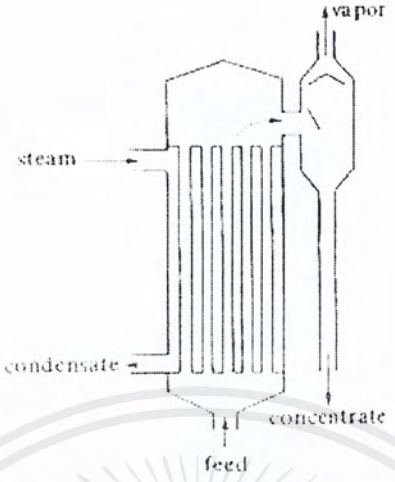


รูปที่ 5.3 Vertical-type natural circulation evaporator [6]

5.3.4 Long –tube vertical-type evaporator

เครื่องระเหยชนิดนี้ แสดงดังในรูปที่ 5.4 โดยของเหลวจะไหลภายในท่อ การเกิดฟองอากาศภายในท่อเป็นสาเหตุให้เกิด Pumping action ซึ่งส่งผลให้ของเหลวมีความเร็วค่อนข้างสูง โดยทั่วไปของเหลวจะผ่านท่อแค่ครั้งเดียว จะไม่มีการไหลวนของของเหลวกลับมาอีกครั้ง ทำให้มีช่วงเวลาสัมผัสค่อนข้างสั้น ในบางกรณีถ้าอัตราส่วนของอัตราการไหลของสารป้อนต่ออัตราการระเหยต่ำ จะทำการไหลวนตามธรรมชาติโดยนำท่อขนาดใหญ่มาต่อเชื่อมระหว่างสายของผลิตภัณฑ์ที่ได้กับสายของสารป้อน ถ้าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของไอน้ำมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับของเหลวที่ต้องการระเหย จะต้องมีการออกแบบให้ของเหลวมีความเร็วสูง พบมากในอุตสาหกรรมผลิตนมเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 Long –tube vertical-type evaporator [6]

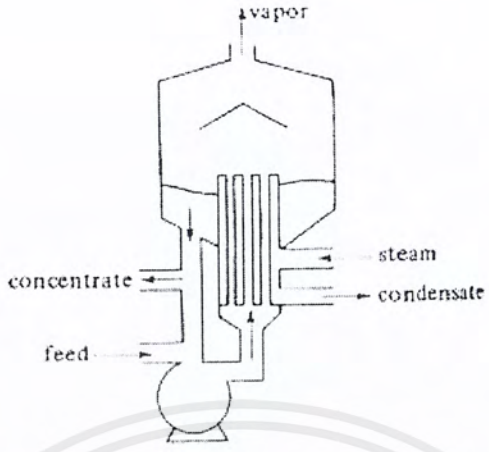
5.3.5 Falling –film – type evaporator

Falling –film – type evaporator เป็นเครื่องระเหยชนิดหนึ่งใน Long-tube type โดยป้อนของเหลวเข้าทางด้านบนของท่อแล้วไหลลงด้านล่างไปตามผนังท่อ ทำให้เกิดเป็นฟิล์มของเหลวบางๆขึ้น ส่วนมากจะติดตั้งเครื่องแยกของเหลวและไอออกจากกันไว้ล่างสุดของเครื่อง เครื่องระเหยชนิดนี้ส่วนมากใช้กับสารที่มีความไวต่ออุณหภูมิ เช่น น้ำส้ม และน้ำผลไม้อื่นๆ เพราะเครื่องระเหยชนิดนี้จะมีช่วงเวลาสะสมสั้น ประมาณ 5 ถึง 10 วินาทีหรือมากกว่า และเหมาะสมที่จะใช้กับสารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง

5.3.6 Forced-circulation-type evaporator

เราสามารถเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฟิล์มของเหลวได้โดยการปั๊มสารละลาย ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการไหลวนที่อาศัยแรงขับเคลื่อน (Force circulation) ของสารละลายภายในท่อ ควรทำในท่อยาวที่อยู่ในแนวตั้ง ดังที่แสดงในรูปที่ 5.4 แล้วเพิ่มท่อที่ต่อกับปั๊มที่ต่อระหว่างสารละลายเข้มข้นที่ไหลออกกับสายที่ป้อนเข้า แต่ท่อแนวตั้งที่ใช้ในเครื่องระเหยชนิดนี้จะสั้นกว่าที่ใช้ใน Long-tube type ดังแสดงในรูปที่ 5.5 เครื่องระเหยชนิดนี้ใช้มากกับของเหลวที่มีความหนืดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 Forced-circulation-type evaporator [6]

5.3.7 Agitated-film evaporator

ในเครื่องระเหยจะเกิดความต้านทานการถ่ายเทความร้อนทางด้านสารละลาย วิธีหนึ่งที่ช่วยลดความต้านทานคือ การทำให้การไหลของฟิล์มเป็นการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ทำได้โดยการกวนฟิล์มของสารละลาย ทำโดยนำ Falling - film evaporator มาปรับปรุง โดยการเพิ่มเครื่องกวนเข้าไปภายในปลอกหุ้มของท่อ สารละลายจะไหลเข้าทางด้านบนของท่อ แล้วถูกทำให้กระจายเกิดฟิล์มที่มีการไหลแบบปั่นป่วน โดยใบกวนไหลลงด้านล่าง สารละลายเข้มข้นจะไหลออกด้านล่าง ส่วนไอจะลอยขึ้นด้านบนผ่านเครื่องแยกสาร องค์ประกอบทางด้านบนสุด เครื่องระเหยชนิดนี้ใช้สำหรับสารที่มีความหนืดสูง เช่น กาวยาง, เจลาติน, แอนติไบโอติก และน้ำผลไม้ แต่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงและมีความจุน้อย

5.3.8 Open-pan solar evaporator

เป็นเครื่องระเหยชนิดที่ใช้กันมานานแล้วแต่ก็ยังคงใช้กันอยู่ในบางกรณีเท่านั้น เช่น การระเหยน้ำทะเลอย่างช้าๆ โดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อให้เกลือตกผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

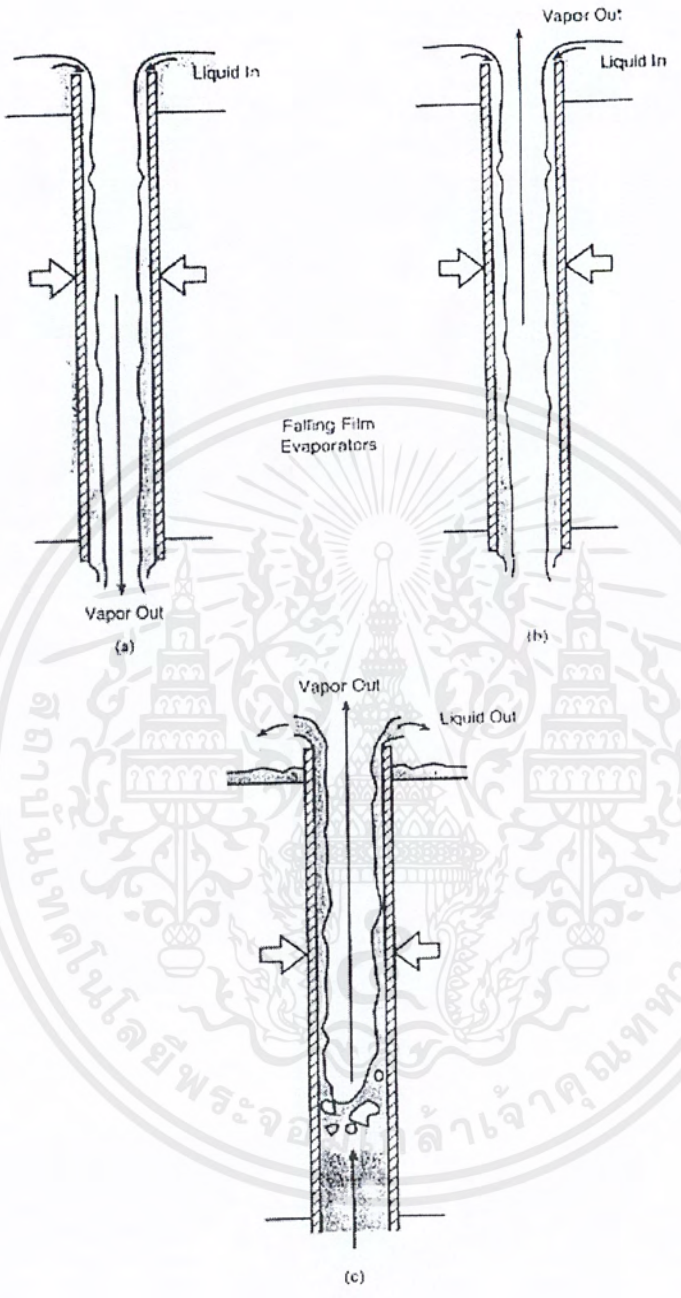
5.4 Falling –film – type evaporator [7]

เครื่องระเหยชนิดนี้ออกแบบให้ของเหลวไหลเป็นฟิล์มบางๆบนพื้นผิวสัมผัสที่ร้อนระเหยออกมา การระเหยจะเกิดขึ้นเมื่อมีการถ่ายเทความร้อน โดยการนำหรือการพาความร้อนจากฟิล์มของเหลวไปยังพื้นผิวสัมผัสที่ต่อกับไอหรือไอผสมก๊าซ เมื่อไอที่ได้จากการระเหยผสมกับก๊าซที่ไม่ถูกควบแน่น ฟิล์มของเหลวจะไม่เป็นความร้อนยิ่งยวด แต่เมื่อมีเฉพาะไอไม่มีก๊าซอื่นผสม พื้นผิวสัมผัสจะเป็นความร้อนยิ่งยวด และไม่พอเพียงในการทำให้เกิดการระเหย เนื่องจากจะเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิเล็กน้อยตลอดช่วงของฟิล์ม Falling –film – type evaporator แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

- Falling - film evaporator เครื่องระเหยชนิดนี้ของเหลวจะไหลภายในท่อจากบนลงล่างภายใต้แรงโน้มถ่วง บนพื้นผิวสัมผัสไอที่ได้จากการระเหยอาจจะไหลลงด้านล่างเหมือนของเหลว (Cocurrent) หรืออาจจะไหลขึ้นข้างบนสวนทางกับของเหลว (Countercurrent) ก็ได้ แสดงดังรูปที่ 5.6

- Climbing film evaporator เครื่องระเหยชนิดนี้ของเหลวจะไหลภายในท่อจากล่างขึ้นบน โดยได้รับแรงขับเคลื่อนจากความเค้นเนื่องจากความเครียดภายในซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากไอไหลขึ้นด้านบน ส่วนไอที่ได้จากการระเหยจะออกแบบให้เคลื่อนที่ทิศทางเดียวกับฟิล์มของเหลวเท่านั้นคือเคลื่อนที่จากล่างขึ้นบน แสดงดังรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 การเกิดฟิล์มของเหลวใน Falling -film evaporator และ Climbing film evaporator [7]

(a) การเกิดฟิล์มของเหลวใน Falling -film evaporator แบบ cocurrent

(b) การเกิดฟิล์มของเหลวใน Falling -film evaporator แบบ countercurrent

(c) การเกิดฟิล์มของเหลวใน Climbing film evaporator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับไอที่ไม่มีก๊าซอื่นผสม อาจละทิ้งแรงขับเคลื่อนเนื่องจากความแตกต่างของความดัน และอาจสมมติว่าอุณหภูมิที่ผิวสัมผัสของฟิล์มของเหลวมีค่าเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัวที่ความดันต่างๆ การถ่ายเทมวลสามารถคำนวณได้จากการถ่ายเทความร้อนของฟิล์มของเหลวจากผิวสัมผัส (T_w) ไปยังผิวของฟิล์ม (T_{sat})

สำหรับการระเหยของของเหลวไปยังก๊าซผสมของไอและก๊าซอื่นที่ไม่ถูกควบแน่น ถ้าไม่คิดความต้านทานเนื่องจากการแพร่ของของเหลว ดังนั้นอุณหภูมิของของเหลวที่ผิวสัมผัส (T_S) จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัวที่ความดันย่อยของไอในก๊าซผสม

5.4.1 อัตราการระเหยของฟิล์มของเหลวจะเพิ่มขึ้นเมื่อ

5.4.1.1 เพิ่มอุณหภูมิของผิวสัมผัส (T_w) แต่การเพิ่มอุณหภูมินี้ก็มีข้อจำกัดเพราะต้องหลีกเลี่ยงการเกิดการเดือดพล่าน

5.4.1.2 ลดความต้านทานความร้อนของฟิล์มของเหลว โดยการเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฟิล์ม (α) ใช้สำหรับฟิล์มของเหลวที่บาง

5.4.1.3 ลดอุณหภูมิของของเหลวที่ผิวสัมผัส (T_S)

- ในกรณีของไอที่ไม่มีก๊าซผสม ทำโดยการลดความดันรวม แต่ไม่ค่อยนิยมใช้เนื่องจากจะมีปัญหาการรั่วของระบบสุญญากาศ

- ในกรณีของก๊าซผสมของไอและก๊าซอื่น ทำโดยการลดความดันย่อยของไอที่อยู่ในก๊าซผสม ใช้กันมากในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น ก๊าซอื่นที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซผสมจะถูกดึงออกหลังจากที่ไอถูกควบแน่น

จากรูปที่ 5.7 เป็นมัดของท่อแนวตั้งที่อยู่ในเชลล์รูปทรงกระบอก โดยของเหลวจะไหลเข้าทางด้านบนของท่อแล้วไหลลงล่าง ส่วนไอน้ำซึ่งเป็นแหล่งให้ความร้อนจะอยู่นอกท่อหรืออยู่ภายในเชลล์ จะไหลเข้าทางด้านล่างออกด้านบนและพาให้ไอที่ได้จากการระเหยของฟิล์มของเหลวขึ้นไปด้วย แต่บางครั้งของเหลวอาจไหลอยู่ด้านนอก ส่วนของไหลที่ร้อนไหลอยู่ภายในท่อ ซึ่งจะใช้กับที่ที่มีความดันน้อย เครื่องแบบนี้จะมีค่าใช้จ่ายน้อย ถึงแม้ว่าส่วนใหญ่เครื่องระเหยชนิดนี้จะเป็นแบบมัดของท่อในแนวตั้ง แต่ก็มีการออกแบบเพื่อจุดประสงค์ต่างๆ เช่น แบบมัดของท่อแนวนอน แบบ Helical coil ซึ่งแบบนี้จะให้ของไหลที่ร้อนอยู่ด้านในและของไหลที่เย็นไหลลงล่างอยู่ด้านนอก หรือบางครั้งอาจกระจายของเหลวโดยใช้การฉีดพ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกระจายที่อยู่บนสุดของท่อเป็นส่วนที่สำคัญที่จะทำให้ฟิล์มของเหลวมีความหนาอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งประกอบด้วย 2 ชั้น คือชั้นแรกจะทำให้เกิดการกระจายของฟิล์มของเหลวอย่างสม่ำเสมอของแต่ละท่อ โดยใช้สล็อตให้อยู่บนสุดของท่อ และสล็อตทุกตัวต้องอยู่ในระดับเดียวกัน ชั้นที่ 2 จะมีเพลทกระจายจะทำให้เกิดการกระจายอย่างสม่ำเสมอระหว่างท่อ โดยอาศัยการลดโมเมนตัมของของเหลวที่จะเข้ามาในท่อทำให้เกิดการกระจายในแนวรัศมี

5.5 หลักการสำหรับการออกแบบ Falling -film evaporator [7]

5.5.1 ใช้ของเหลวที่มีความร้อนยิ่งยวดต่ำ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเดือดพล่าน ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันเนื่องจากตะกรันและการเกิดการเสื่อมคุณภาพ

5.5.2 มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวสัมผัส (T_W) กับอุณหภูมิอิ่มตัวที่ความดันย่อยของไอ (T_S) ที่เพียงพอ

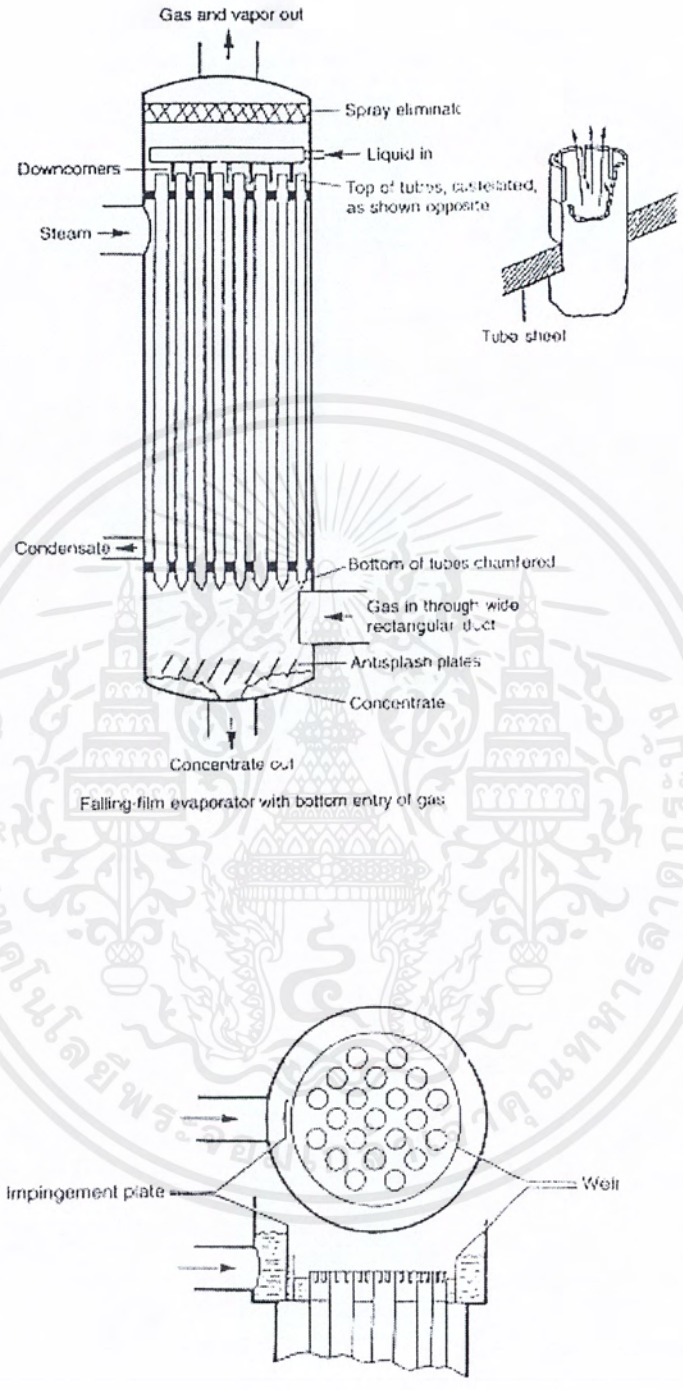
5.5.3 มีฟิล์มของเหลวบางๆที่มีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงเพียงพอ

5.5.4 เพื่อป้องกันไม่ให้ฟิล์มที่ไหลลงมาขาดจึงต้องทำให้ของเหลวมีอัตราการไหลที่สูงพอ

5.5.5 มีระบบการกระจายของเหลวที่ดีพอที่ทำให้ฟิล์มในแต่ละท่อมีความหนาสม่ำเสมอ และมีการกระจายสม่ำเสมอระหว่างท่อ

5.5.6 ออกแบบให้ง่ายในการทำความสะอาดผิวสัมผัสที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน สำหรับเครื่องระเหยแบบไหลสวนทาง ความเร็วของก๊าซผสมของไอและก๊าซอื่นจะต้องน้อยกว่าอัตราการ-ท่วมขัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

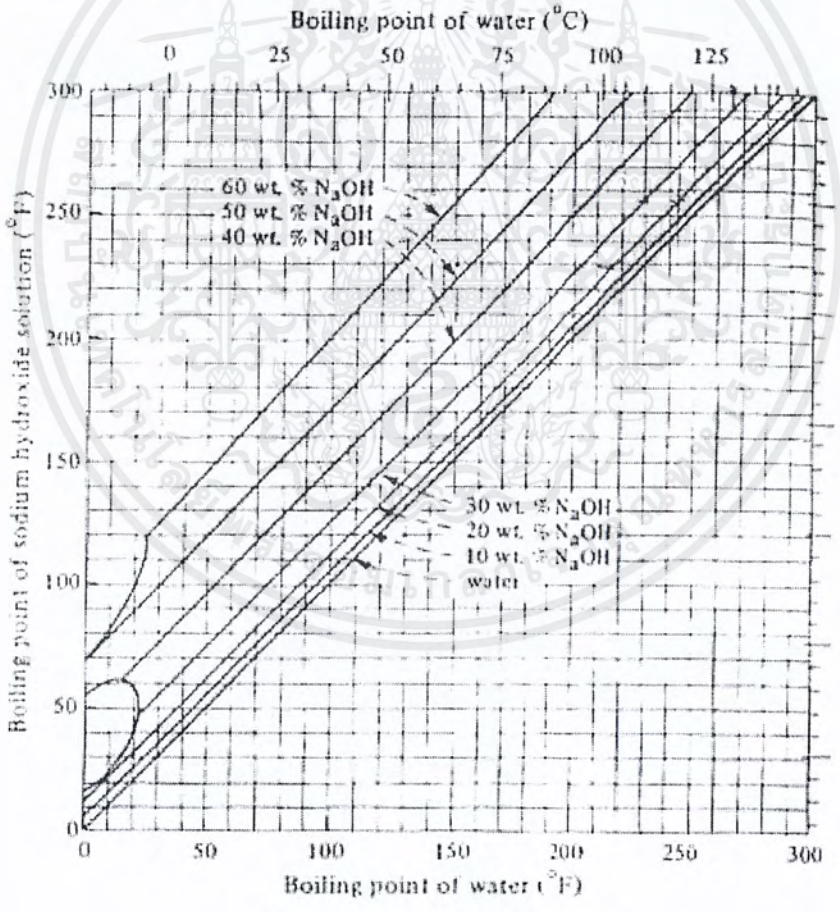


รูปที่ 5.7 Falling-film evaporator [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

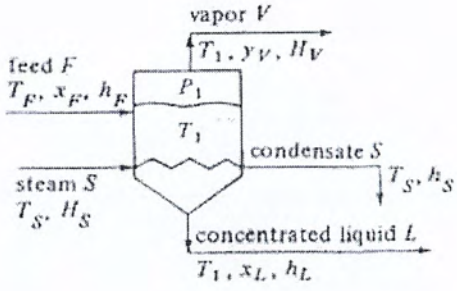
5.6 การคำนวณการระเหยแบบ Single effect [6], [8]

ในสารละลายที่ไม่ได้เป็นสารละลายเจือจาง คุณสมบัติทางความร้อนของสารละลายจะแตกต่างไปจากคุณสมบัติของน้ำ ความเข้มข้นของสารละลายยิ่งสูงก็ยิ่งทำให้ความจุความร้อนและจุดเดือดของสารละลายมีค่าแตกต่างไปจากน้ำมาก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าเกิด Boiling point rise ไม่สามารถคำนวณหาค่า Boiling point rise ของสารละลายเข้มข้นได้ แต่สามารถหาได้จากกฎของเดอริง (Duhring's rule) ตามกฎนี้ถ้าสร้างกราฟระหว่างจุดเดือดของสารละลายกับจุดเดือดของน้ำที่ความดันเดียวกัน ในแต่ละความเข้มข้นและความดันต่างๆ จะได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 กราฟเดอริงของโซเดียมไฮดรอกไซด์ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 เครื่องระเหยแบบขั้นเดียว [6]

เครื่องระเหยแบบขั้นเดียว (single-effect evaporator) แสดงดังรูปที่ 5.9 โดย

- สารป้อนเข้ามีอัตราการไหล F kg/h (lb_m/h) มีของแข็งเป็นองค์ประกอบเป็นสัดส่วนโดยมวล x_F มีอุณหภูมิ T_F K และมีเอนทัลปี h_F J/kg (Btu/lb_m)

- สารละลายเข้มข้นที่ออกมามีอัตราการไหล L kg/h (lb_m/h) มีของแข็งเป็นองค์ประกอบเป็นสัดส่วนโดยมวล x_L มีอุณหภูมิ T_1 K และมีเอนทัลปี h_L J/kg (Btu/lb_m)

- ไอที่ได้จากการระเหยมีอัตราการไหล V kg/h (lb_m/h) ไม่มีองค์ประกอบที่เป็นของแข็ง $y_V = 0$ มีอุณหภูมิ T_1 K และมีเอนทัลปี H_V J/kg (Btu/lb_m)

- ไอน้ำอิ่มตัวมีอัตราการไหล S kg/h (lb_m/h) มีอุณหภูมิ T_S K และมีเอนทัลปี H_S J/kg (Btu/lb_m)

- ของเหลวควบแน่นมีอัตราการไหล S kg/h (lb_m/h) มีอุณหภูมิ T_S K และมีเอนทัลปี h_S J/kg (Btu/lb_m)

การคำนวณ (สมมติว่าเป็นสารละลายเจือจาง จึงไม่คิดผลของ Boiling point rise)

จากสมการความจุ $q = UA\Delta T = UA(T_S - T_1)$ (1)

เมื่อ q = ความร้อนที่ถ่ายเทในเครื่องระเหย : W (Btu/h)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน : $W/m^2 \cdot K$

A = พื้นผิวสัมผัสที่ถ่ายเทความร้อน : m^2

$$\lambda = H_S - h_s \quad (2)$$

เมื่อ λ = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ : kJ/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นไอที่ได้จากการระเหยที่มีอัตราการไหล V จะอยู่ในสมดุลกับสารละลายเข้มข้นที่มีอัตราการไหล L ส่วนอุณหภูมิของไอและสารละลายเข้มข้นจะมีค่าเท่ากัน

สมดุลมวลของสารทั้งหมดที่สภาวะเสถียร (สมมติว่าไม่มี Boiling - point rise)

อัตรามวลสารเข้า = อัตรามวลสารออก

$$F = L + V \quad (3)$$

สมดุลของของแข็ง $Fx_F = Lx_L$ (4)

สมดุลพลังงานทั้งหมด

พลังงานทั้งหมดที่เข้า = พลังงานทั้งหมดที่ออก

พลังงานในสารป้อน + พลังงานในไอน้ำ = พลังงานในสารละลายเข้มข้น + พลังงานในไอ + พลังงานในของเหลวควบแน่น

สมมติว่าไม่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการแผ่รังสีหรือการพาความร้อน

$$Fh_F + SH_S = Lh_L + VH_V + Sh_S \quad (5)$$

แทนสมการที่ (2) ในสมการที่ (5)

$$Fh_F + S\lambda = Lh_L + VH_V \quad (6)$$

ความร้อนที่ถ่ายเทในเครื่องระเหย

$$q = S(H_S - h_S) \quad (7)$$

ซึ่งค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (λ) ที่อุณหภูมิอิ่มตัว (T_S) สามารถหาได้จากตารางไอน้ำ แต่ไม่สามารถเปิดหาค่าเอนทัลปีของสารป้อนและผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสารละลายเข้มข้นได้ แต่ค่าเอนทัลปีและความเข้มข้นสามารถประมาณได้จากการทำสมดุลพลังงาน ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

5.6.1 การประมาณหาค่าความร้อนของการระเหยน้ำ 1 กิโลกรัม จากสารละลายได้จากตารางไอน้ำที่จุดเดือดของสารละลาย (T_1) หรืออุณหภูมิของผิวสัมผัส จะให้ค่าที่มีความถูกต้องมากกว่าการประมาณหาค่าอุณหภูมิที่สมดุลของน้ำบริสุทธิ์ที่ความดัน P_1

5.6.2 ถ้าทราบความจุความร้อนของสารป้อน (c_{pF}) และความจุความร้อนของสารละลายเข้มข้น (c_{pL}) ทำให้สามารถคำนวณหาค่าเอนทัลปีได้ (ยกเว้นสารละลายเจือจางจะไม่สามารถคำนวณหาได้) จากสมการ

$$h_F = c_{pF}(T_F - T_1) \quad (8)$$

$$H_L = c_{pL}(T_L - T_1) \quad (9)$$

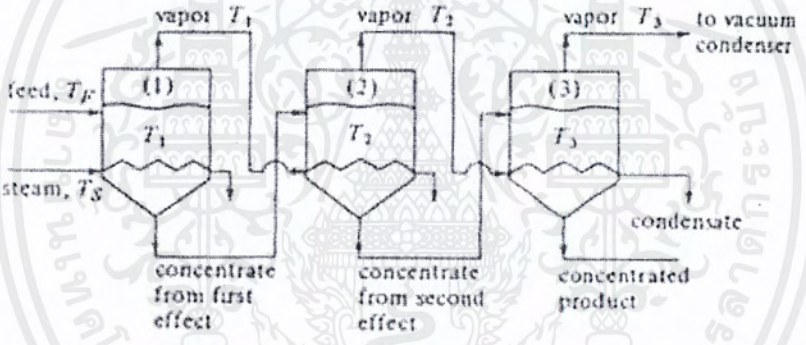
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 การคำนวณการระเหยแบบ Multiple effect [6], [8]

5.7.1 อุณหภูมิลดในเครื่องระเหยแบบ Multiple effects

เครื่องระเหยแบบป้อนสารไปข้างหน้าที่มี 3 ขั้น (Forward-feed triple-effect evaporator) แสดงดังรูปที่ 5.10

สมมติว่าเป็นสารละลายเจือจาง จึงไม่คิดผลของ Boiling point rise และสมมติว่าไม่มีความร้อนของสารละลาย และไม่ต้องใช้ความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อนให้เท่ากับจุดเดือด และสามารถประมาณว่าความร้อนแฝงของการควบแน่นของไอมีค่าเท่ากับความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ



รูปที่ 5.10 Forward-feed triple-effect evaporator [6]

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทในเครื่องระเหยแต่ละขั้นต่อหน่วยเวลา สามารถหาได้จาก

$$q = U_1A_1\Delta T_1 = U_1A_1(T_S - T_1) \quad (10)$$

$$q = U_2A_2\Delta T_2 = U_2A_2(T_S - T_2) \quad (11)$$

$$q = U_3A_3\Delta T_3 = U_3A_3(T_S - T_3) \quad (12)$$

และ $q_1 = q_2 = q_3$

ดังนั้น

$$U_1A_1\Delta T_1 = U_2A_2\Delta T_2 = U_3A_3\Delta T_3 \quad (13)$$

$$\frac{q}{A} = U_1\Delta T_1 = U_2\Delta T_2 = U_3\Delta T_3 \quad (14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ΔT ใน Multiple effects เมื่อไม่คิด Boiling point rise จะประมาณได้เท่ากับ

$$\Sigma\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 = T_S - T_3 \quad (15)$$

จะได้ว่า

$$\Delta T_1 = \sum \Delta T \frac{1/U_1}{1/U_1 + 1/U_2 + 1/U_3} \quad (16)$$

ΔT_2 และ ΔT_3 คิดในทำนองเดียวกัน

5.7.2 ความจุของเครื่องระเหยแบบ Multiple effects

สามารถประมาณความจุของเครื่องระเหยทั้ง 3 ขั้นได้จาก

$$q = q_1 + q_2 + q_3 \quad (17)$$

$$q = U_1A_1\Delta T_1 + U_2A_2\Delta T_2 + U_3A_3\Delta T_3 \quad (18)$$

สมมติว่า เครื่องระเหยทุกขั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและพื้นผิวสัมผัสเท่ากัน

$$q = UA(\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3) \quad (19)$$

$$q = UA\Delta T \quad (20)$$

เมื่อ $\Delta T = \Sigma\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 = T_S - T_3$

การคำนวณ

ส่วนมากตัวแปรที่ทราบค่า ได้แก่

- ความดันของไอในเครื่องระเหยขั้นแรกและขั้นสุดท้าย
- สภาวะของสารป้อนและอัตราการไหล
- ความเข้มข้นของสารละลายที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นสุดท้าย
- คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น เอนทัลปี ความจุความร้อนของสารละลายและไอ
- สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหยในแต่ละขั้น

สมมติว่า พื้นผิวสัมผัสที่ถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหยในแต่ละขั้นมีค่าเท่ากัน

การคำนวณทำได้โดยการทำสมดุลมวลสาร สมดุลพลังงาน และใช้สมการความจุ ในแต่ละขั้นของเครื่องระเหย ส่วนมากจะใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and error) ในการคำนวณ สำหรับเครื่องระเหยที่มี 3 ขั้น จะมีขั้นตอนพื้นฐานในการคำนวณ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.2.1จากที่ทราบความเข้มข้นของสารละลายและความดันของไอในเครื่องระเหยขั้นที่สาม จึงสามารถหาจุดเดือดในขั้นนี้ได้จากการเปิดตารางไอน้ำ (ถ้ามี Boiling point rise สามารถหาได้จากกราฟของเดอริง)

5.7.2.2 สามารถคำนวณหาปริมาณไอที่ได้จากการระเหยออกมา ทำการลองผิดลองถูกครั้งแรก โดยสมมติว่า ปริมาณไอที่ได้จากการระเหยออกมาในแต่ละขั้นของเครื่องระเหยมีค่าเท่ากัน $V_1 = V_2 = V_3$ แล้วทำสมดุลมวลสารทั้งหมดในแต่ละขั้น เพื่อคำนวณหา L_1 L_2 และ L_3 ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายในแต่ละขั้นได้โดยทำสมดุลมวลของแข็งของแต่ละขั้น

5.7.2.3 คำนวณหา ΔT ในแต่ละขั้นของเครื่องระเหย (ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3) จาก

$$\Delta T_1 = \sum \Delta T \frac{1/U_1}{1/U_1 + 1/U_2 + 1/U_3}$$

เมื่อได้ค่า ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3 แล้วสามารถนำไปคำนวณหาจุดเดือดในแต่ละขั้นของเครื่องระเหยได้

กรณีที่มีผลของ Boiling point rise จะต้องประมาณความดันในขั้นที่หนึ่งและขั้นที่สอง แล้วหา Boiling point rise ในแต่ละขั้น แล้วหาค่า $\Sigma\Delta T$ ได้จาก

$$\Sigma\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 - \Delta T_{b1} - \Delta T_{b2} - \Delta T_{b3}$$

$$\Sigma\Delta T = T_S - T_3 - \Delta T_{b1} - \Delta T_{b2} - \Delta T_{b3}$$

5.7.2.4 ทำสมดุลพลังงานและสมดุลมวลสารในแต่ละขั้นของเครื่องระเหย เพื่อคำนวณหาปริมาณไอที่ได้จากการระเหยและอัตราการไหลของสารละลายในแต่ละขั้น ถ้าปริมาณไอที่ได้จากการระเหยที่คำนวณได้มีค่าแตกต่างจากที่สมมติไว้ในขั้นที่ 5.7.2.2 จะต้องทำการคำนวณใหม่โดยเริ่มต้นจากขั้นที่ 5.7.2.2 จนถึงขั้นที่ 5.7.2.4 โดยในขั้นที่ 5.7.2.2 ทำเฉพาะสมดุลของของแข็งใหม่เท่านั้น

5.7.2.5 คำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทในแต่ละขั้นของเครื่องระเหย จากสมการ

$$q = UA\Delta T$$

คำนวณหา A_1 A_2 และ A_3 แล้วคำนวณหา A_m จาก

$$A_m = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าค่าที่คำนวณได้สอดคล้องกับค่าอื่นๆ การคำนวณก็จะสมบูรณ์ไม่ต้องทำลองผิดลองถูกครั้งที่ 2 แต่ถ้าค่าที่คำนวณได้ไม่สอดคล้องกับค่าอื่น ก็จำเป็นต้องทำการลองผิดลองถูกครั้งที่ 2

5.7.2.6 การทำการลองผิดลองถูกครั้งที่ 2 ต้องใช้ค่า L_1, L_2, L_3, V_1, V_2 และ V_3 ใหม่ ซึ่งคำนวณโดยใช้สมดุลพลังงานในขั้นที่ 5.7.2.4 และคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายในแต่ละขั้นใหม่โดยใช้สมดุลของแข็ง

5.7.2.7 หาค่า ΔT ในแต่ละขั้นของเครื่องระเหย ($\Delta T_1'$, $\Delta T_2'$, $\Delta T_3'$) ใหม่จาก

$$\Delta T_1' = \frac{\Delta T_1 A_1}{A_m} \quad , \quad \Delta T_2' = \frac{\Delta T_2 A_2}{A_m}$$

และ $$\Delta T_3' = \frac{\Delta T_3 A_3}{A_m}$$

ซึ่งค่า $\Delta T_1' + \Delta T_2' + \Delta T_3'$ ที่คำนวณได้ต้องมีค่าเท่ากับ $\Sigma\Delta T$

กรณีที่มีผลของ Boiling point rise จะต้องหาความเข้มข้นใหม่จากขั้นที่ 5.7.2.6 และใช้ความเข้มข้นใหม่ที่หาได้หาค่า Boiling point rise ใหม่ในแต่ละขั้น แล้วคำนวณหา $\Delta T_1'$, $\Delta T_2'$, $\Delta T_3'$ และ $\Sigma\Delta T$ ใหม่ และค่า $\Delta T_1' + \Delta T_2' + \Delta T_3'$ ที่คำนวณใหม่ได้ต้องมีค่าเท่ากับ $\Sigma\Delta T$ และสามารถคำนวณหาจุดเดือดในแต่ละขั้นของเครื่องระเหยใหม่ได้

5.7.2.8 ใช้ค่า $\Delta T'$ ใหม่ที่คำนวณได้ในขั้นที่ 5.7.2.7 แล้วกลับไปคำนวณใหม่อีกรอบโดยเริ่มจากขั้นที่ 5.7.2.4 ก็จะได้ค่าพื้นผิวสัมผัสที่ถูกต้อง

5.8 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีต่อกระบวนการระเหย [6]

5.8.1 ผลของอุณหภูมิของสารป้อน

อุณหภูมิของสารป้อนจะมีผลต่อกระบวนการระเหยอย่างมาก ถ้าสารป้อนมีอุณหภูมิต่ำมากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่จุดเดือด เช่น สารป้อนมีอุณหภูมิ 311 องศาเคลวิน เมื่อเทียบกับจุดเดือดมีอุณหภูมิ 373.2 องศาเคลวิน ทำให้ความร้อนประมาณหนึ่งส่วนสี่ของความร้อนทั้งหมดถูกใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อนให้มีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือด ดังนั้นจะมีความร้อนเพียงสามส่วนสี่ของความร้อนทั้งหมดถูกใช้ในการทำให้สารป้อนระเหยกลายเป็นไอ แต่ถ้าสารป้อนภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดในเครื่องระเหย จะทำให้ได้รับความร้อนในการระเหยเพิ่มขึ้นจากการ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฟลช (Flash) บางส่วนของสารป้อนที่ร้อน การให้ความร้อนแก่สารป้อนก่อนเข้าสู่กระบวนการ-ระเหย จะช่วยลดขนาดของพื้นผิวสัมผัสที่ใช้ถ่ายเทความร้อนในเครื่องระเหย

5.8.2 ผลของความดันภายในเครื่องระเหย

ถ้าความดันภายในเครื่องระเหยลดลง ซึ่งอาจทำได้โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ จะทำให้จุดเดือดของสารละลายภายในเครื่องระเหยลดลง ทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิของสารละลายเข้มข้น (จุดเดือดของสารละลาย) มีค่ามากขึ้น ส่งผลให้พื้นผิวสัมผัสที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนและราคาของเครื่องระเหยจะมีค่าลดลง

5.8.3 ผลของความดันของไอน้ำ

การเพิ่มความดันของไอน้ำอิ่มตัวจะทำให้ทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของไอน้ำ-อิ่มตัวกับอุณหภูมิของสารละลายเข้มข้น (จุดเดือดของสารละลาย) มีค่ามากขึ้น ส่งผลให้พื้นผิวสัมผัสที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนและราคาของเครื่องระเหยจะมีค่าลดลง แต่ไอน้ำที่มีความดันสูงจะมีราคาแพง ดังนั้นควรหาความดันของไอน้ำที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

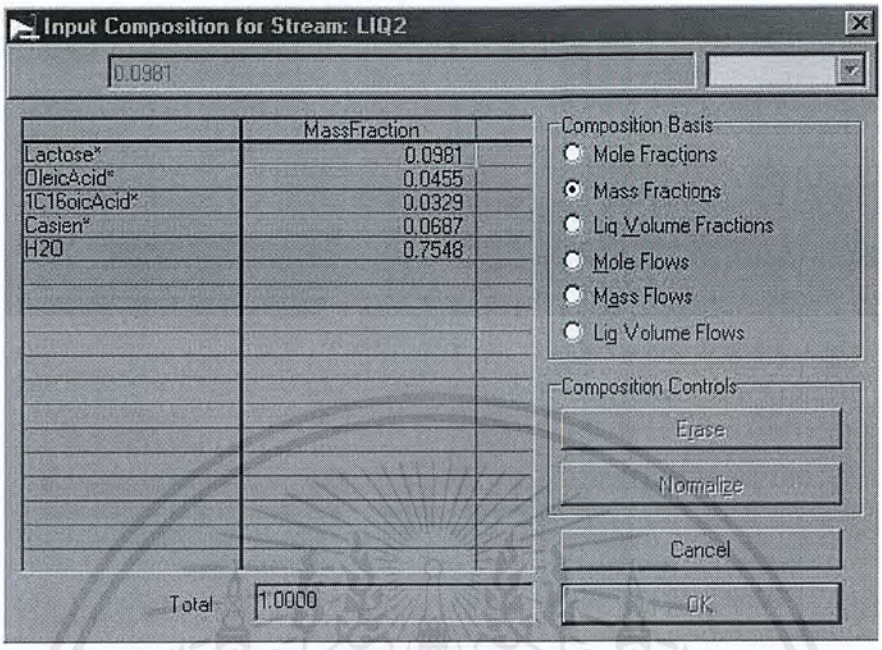
ผลที่ได้จากการศึกษาการจำลองกระบวนการ

6.1 การจำลองกระบวนการ

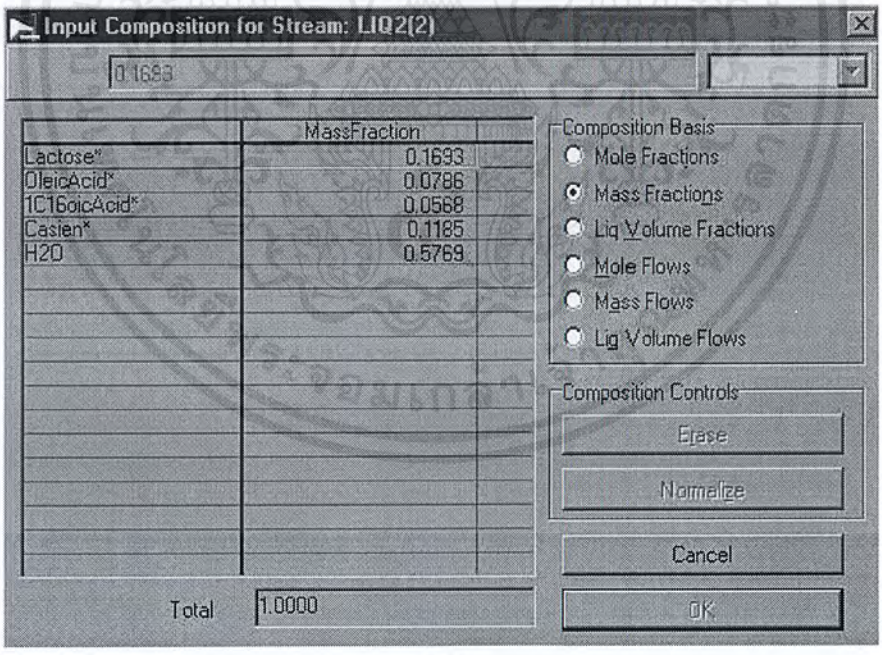
ในการจำลองกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบ อุปกรณ์ที่ใช้ในแบบจำลองได้แก่ เครื่องผสม ปั๊ม เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และเครื่องแยก โดยสภาวะที่โรงนมผงสวนดุสิตได้ดำเนินการจะเริ่มจาก ป้อนน้ำนมดิบที่มีอุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส (ความเข้มข้นประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง) เข้าสู่ถังควบคุมระดับน้ำนม ซึ่งจะควบคุมให้สารมีปริมาณ 1,000 กิโลกรัม แล้วจึงส่งต่อเข้าปั๊มเพื่อเพิ่มความดันของสารให้มีแรงดันส่งเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความ-ร้อนเครื่องที่ 1 ด้วยอัตราการไหล 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยจะอุ่นสารให้มีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียสก่อนที่จะส่งต่อไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องที่ 2 เพื่อทำการระเหยสารที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส เครื่องอุ่นสารป้อนและเครื่องระเหยสารนี้จะได้รับพลังงานไอน้ำจากหม้อต้มน้ำ (อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส) ทำให้น้ำนมดิบได้รับความร้อนและเกิดการระเหยแยกออกเป็นส่วนของไอและส่วนของของเหลว เมื่อทำการแยกส่วนโดยใช้เครื่องแยกแล้ว ก็จะส่งส่วนของของเหลวที่ได้นี้เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องที่ 3 เพื่อทำการระเหยในขั้นที่ 2 ต่อที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส แล้วจึงแยกส่วนของไอและส่วนของของเหลวในเครื่องแยกที่ 2 ต่อไป โดยเครื่องระเหยนี้จะได้รับพลังงานจากไอน้ำที่ได้จากการระเหยในขั้นที่ 1

จากสภาวะการดำเนินงานที่กล่าวมาจะได้ว่า เมื่อทำการระเหยรอบที่ 1 จะได้ความเข้มข้นของนมเพียง 25 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง ดังนั้นจึงต้องส่งนมเข้มข้นนี้เข้าสู่กระบวนการอีกครั้ง โดยเมื่อทำการระเหยรอบที่ 2 จะได้ความเข้มข้นของนมประมาณ 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นที่ใช้ในการผลิตนมผงแสดงได้ดังรูปที่ 6.1 ส่วนความเข้มข้นของนมที่ใช้ในการผลิตนมผงอัดเม็ด ซึ่งมีค่าประมาณ 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ก็สามารถจำลองกระบวนการได้โดยวิธีการเดียวกันนี้แสดงได้ดังรูปที่ 6.2 แผนภาพจำลองกระบวนการ ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับหน่วยของกระบวนการและผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการ แสดงดังรูปที่ 6.3 และตารางที่ 6.1 – 6.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



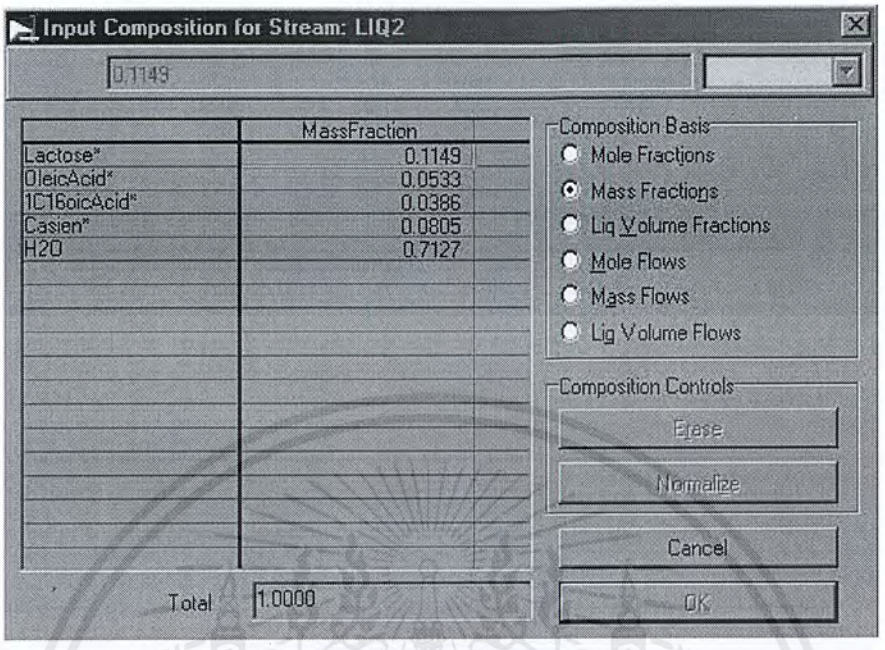
(ข)

รูปที่ 6.1 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง

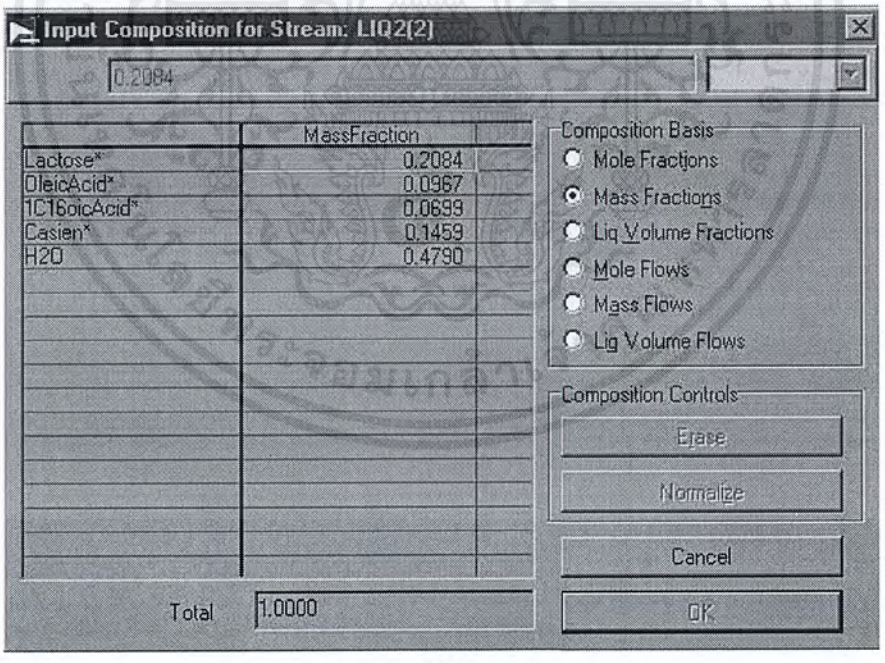
(ก) สัดส่วนโดยมวลที่ได้จากการระเหยรอบที่ 1

(ข) สัดส่วนโดยมวลที่ได้จากการระเหยรอบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



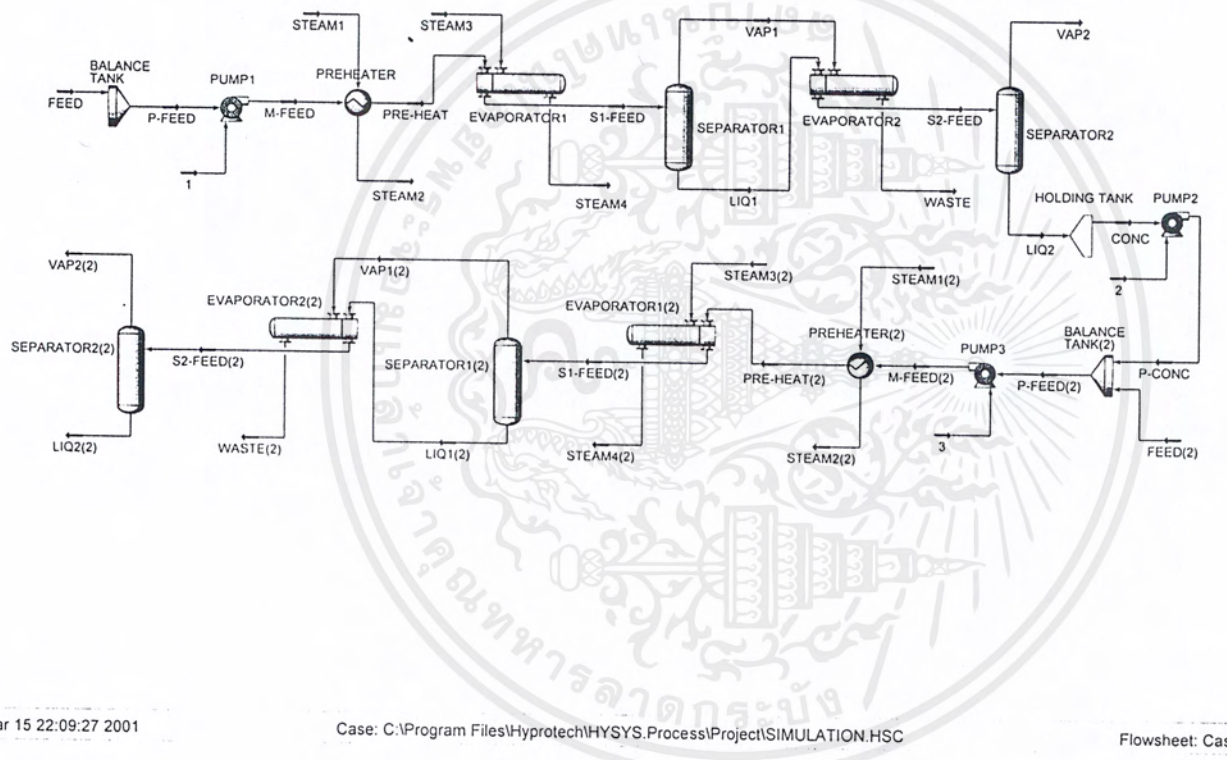
(ข)

รูปที่ 6.2 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง

(ก) สัดส่วนโดยมวลที่ได้จากการระเหยรอบที่ 1

(ข) สัดส่วนโดยมวลที่ได้จากการระเหยรอบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 แผนภาพจำลองกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบ

ตารางที่ 6.1 ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับหน่วยของกระบวนการ

King Mongkut's Institute of Technolo

Case Name:	C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\SIMULATION.H
Unit Set:	JBL
Date/Time:	Thu Mar 15 22:15:25 2001

Workbook: Case (Main)

Unit Ops

Operation Name	Operation Type	Feeds	Products	Ignored	Calc. Level
PREHEATER	Heat Exchanger	M-FEED STEAM1	PRE-HEAT STEAM2	No	500.0 *
EVAPORATOR1	Heat Exchanger	PRE-HEAT STEAM3	S1-FEED STEAM4	No	500.0 *
EVAPORATOR2	Heat Exchanger	LIQ1 VAP1	S2-FEED WASTE	No	500.0 *
PREHEATER(2)	Heat Exchanger	M-FEED(2) STEAM1(2)	PRE-HEAT(2) STEAM2(2)	No	500.0 *
EVAPORATOR1(2)	Heat Exchanger	PRE-HEAT(2) STEAM3(2)	S1-FEED(2) STEAM4(2)	No	500.0 *
EVAPORATOR2(2)	Heat Exchanger	LIQ1(2) VAP1(2)	S2-FEED(2) WASTE(2)	No	500.0 *
SEPARATOR1	Separator	S1-FEED	LIQ1 VAP1	No	500.0 *
SEPARATOR2	Separator	S2-FEED	LIQ2 VAP2	No	500.0 *
SEPARATOR1(2)	Separator	S1-FEED(2)	LIQ1(2) VAP1(2)	No	500.0 *
SEPARATOR2(2)	Separator	S2-FEED(2)	LIQ2(2) VAP2(2)	No	500.0 *
PUMP1	Pump	P-FEED 1	M-FEED	No	500.0 *
PUMP3	Pump	P-FEED(2) 3	M-FEED(2)	No	500.0 *
PUMP2	Pump	CONC 2	P-CONC	No	500.0 *
HOLDING TANK	Tee	LIQ2	CONC	No	500.0 *
BALANCE TANK	Mixer	FEED	P-FEED	No	500.0 *
BALANCE TANK(2)	Mixer	FEED(2) P-CONC	P-FEED(2)	No	500.0 *

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 ข้อมูลขององค์ประกอบต่างๆในกระบวนการผลิตนมผง (ความเข้มข้น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง)

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\SIMULATION.HS

Unit Set: JBL

Date/Time: Fri Mar 16 03:25:03 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.2667	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	3.608	3.608	12.22	8.958
Mass Flow	(kg/h)	250.0	65.00 *	65.00	250.0	191.3
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	65.13	65.13	243.1	184.3
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-8.595e+05	-1.005e+06	-3.393e+06	-2.612e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.3957	1.0000	0.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.258	3.258	8.958	3.545	5.413
Mass Flow	(kg/h)	58.70	58.70	191.3	63.86	127.4
Liquid Volume Flow	(L/h)	58.82	58.82	184.3	63.99	120.3
Heat Flow	(kJ/h)	-7.804e+05	-9.173e+05	-2.475e+06	-8.514e+05	-1.624e+06
Name		CONC	P-CONC	FEED(2)	P-FEED(2)	M-FEED(2)
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature	(C)	49.66	49.67	8.000 *	28.88	28.88
Pressure	(kPa)	12.34	100.0 *	100.0 *	100.0	150.0 *
Molar Flow	(kgmole/h)	5.413	5.413	5.989	11.40	11.40
Mass Flow	(kg/h)	127.4	127.4	122.6	250.0 *	250.0
Liquid Volume Flow	(L/h)	120.3	120.3	119.2	239.4	239.4
Heat Flow	(kJ/h)	-1.624e+06	-1.624e+06	-1.760e+06	-3.384e+06	-3.384e+06
Name		STEAM1(2)	STEAM2(2)	PRE-HEAT(2)	STEAM3(2)	STEAM4(2)
Vapour Fraction		1.0000 *	0.0000 *	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	110.0 *	110.0	82.41	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	144.2	144.2	150.0	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	1.277	1.277	11.40	3.608	3.608
Mass Flow	(kg/h)	23.00 *	23.00	250.0	65.00 *	65.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	23.05	23.05	239.4	65.13	65.13
Heat Flow	(kJ/h)	-3.041e+05	-3.556e+05	-3.332e+06	-8.595e+05	-1.005e+06
Name		S1-FEED(2)	LIQ1(2)	VAP1(2)	WASTE(2)	S2-FEED(2)
Vapour Fraction		0.3296	0.0000	1.0000	0.0000 *	0.5247
Temperature	(C)	69.70	69.70	69.70	69.70 *	49.66
Pressure	(kPa)	31.16 *	31.16	31.16	31.16	12.34 *
Molar Flow	(kgmole/h)	11.40	7.644	3.758	3.758	7.644
Mass Flow	(kg/h)	250.0	182.3	67.71	67.71	182.3
Liquid Volume Flow	(L/h)	239.4	171.6	67.85	67.85	171.6
Heat Flow	(kJ/h)	-3.187e+06	-2.286e+06	-9.002e+05	-1.058e+06	-2.129e+06
Name		VAP2(2)	LIQ2(2)			
Vapour Fraction		1.0000	0.0000			
Temperature	(C)	49.66	49.66			
Pressure	(kPa)	12.34	12.34			
Molar Flow	(kgmole/h)	4.011	3.633			
Mass Flow	(kg/h)	72.26	110.0			
Liquid Volume Flow	(L/h)	72.40	99.18			
Heat Flow	(kJ/h)	-9.633e+05	-1.165e+06			

หมายเหตุ ค่าที่มีเครื่องหมาย * ในหน้า Workbook หมายความว่า เป็นค่าที่เราใส่ข้อมูลเข้าไป

Hyprotech Ltd. HYSYS.ProcessNetVers v2.1.1 (Build 3198) Page 1 of 2

Licensed to King Mongkut's Institute of Technology Ladkr * Specified by user

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 สัดส่วนโดยโมลขององค์ประกอบต่างๆในกระบวนการผลิตนมผง (ความเข้มข้น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง)

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\SIMULATION.HS

Unit Set: JBL

Date/Time: Fri Mar 16 03:25:03 2001

Workbook: Case (Main) (continued)

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0041
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0023
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0018
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9918
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	CONC
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0041	0.0000	0.0067	0.0067
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0023	0.0000	0.0038	0.0038
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0018	0.0000	0.0030	0.0030
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9918	1.0000	0.9864	0.9864
Name	FEED(2)	P-FEED(2)	PRE-HEAT(2)	STEAM1(2)	STEAM2(2)
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0048	0.0048	0.0000 *	0.0000
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0027	0.0027	0.0000 *	0.0000
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0021	0.0021	0.0000 *	0.0000
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0001	0.0001	0.0000 *	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9904	0.9904	1.0000 *	1.0000
Name	S1-FEED(2)	STEAM3(2)	STEAM4(2)	VAP1(2)	LIQ1(2)
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0048	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0071
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0027	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0040
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0021	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0032
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0001	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	0.9904	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9856
Name	S2-FEED(2)	WASTE(2)	VAP2(2)	LIQ2(2)	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0071	0.0000	0.0000	0.0150	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0040	0.0000	0.0000	0.0084	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0032	0.0000	0.0000	0.0067	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0001	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	0.9856	1.0000	1.0000	0.9697	0.9940
Name	M-FEED(2)	P-CONC			
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0048	0.0067			
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0027	0.0038			
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0021	0.0030			
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0001	0.0001			
Comp Mole Frac (H2O)	0.9904	0.9864			

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 ข้อมูลขององค์ประกอบต่างๆในกระบวนการผลิตนมผงอัดเม็ด (ความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง)

King Mongkut's Institute of Technolo

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\SIMULATION.HS

Unit Set: JBL

Date/Time: Thu Mar 15 22:14:00 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3103	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	4.163	4.163	12.22	8.425
Mass Flow	(kg/h)	250.0	75.00 *	75.00	250.0	181.7
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	75.15	75.15	243.1	174.6
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.370e+06	-2.462e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.4807	1.0000	0.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.791	3.791	8.425	4.050	4.376
Mass Flow	(kg/h)	68.31	68.31	181.7	72.96	108.7
Liquid Volume Flow	(L/h)	68.44	68.44	174.6	73.10	101.5
Heat Flow	(kJ/h)	-9.081e+05	-1.067e+06	-2.303e+06	-9.726e+05	-1.330e+06
Name		CONC	P-CONC	FEED(2)	P-FEED(2)	M-FEED(2)
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature	(C)	49.66	49.67	8.000 *	25.63	25.64
Pressure	(kPa)	12.34	100.0 *	100.0 *	100.0	150.0 *
Molar Flow	(kgmole/h)	4.376	4.376	6.903	11.28	11.28
Mass Flow	(kg/h)	108.7	108.7	141.3	250.0 *	250.0
Liquid Volume Flow	(L/h)	101.5	101.5	137.4	238.9	238.9
Heat Flow	(kJ/h)	-1.330e+06	-1.330e+06	-2.028e+06	-3.358e+06	-3.358e+06
Name		STEAM1(2)	STEAM2(2)	PRE-HEAT(2)	STEAM3(2)	STEAM4(2)
Vapour Fraction		1.0000 *	0.0000 *	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	110.0 *	110.0	79.36	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	144.2	144.2	150.0	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	1.277	1.277	11.28	4.163	4.163
Mass Flow	(kg/h)	23.00 *	23.00	250.0	75.00 *	75.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	23.05	23.05	238.9	75.15	75.15
Heat Flow	(kJ/h)	-3.041e+05	-3.556e+05	-3.307e+06	-9.917e+05	-1.160e+06
Name		S1-FEED(2)	LIQ1(2)	VAP1(2)	WASTE(2)	S2-FEED(2)
Vapour Fraction		0.3742	0.0000	1.0000	0.0000 *	0.6301
Temperature	(C)	69.70	69.70	69.70	69.70 *	49.66
Pressure	(kPa)	31.16 *	31.16	31.16	31.16	12.34 *
Molar Flow	(kgmole/h)	11.28	7.058	4.220	4.220	7.058
Mass Flow	(kg/h)	250.0	174.0	76.04	76.04	174.0
Liquid Volume Flow	(L/h)	238.9	162.7	76.19	76.19	162.7
Heat Flow	(kJ/h)	-3.139e+06	-2.128e+06	-1.011e+06	-1.188e+06	-1.951e+06
Name		VAP2(2)	LIQ2(2)			
Vapour Fraction		1.0000	0.0000			
Temperature	(C)	49.66	49.66			
Pressure	(kPa)	12.34	12.34			
Molar Flow	(kgmole/h)	4.447	2.611			
Mass Flow	(kg/h)	80.12	93.84			
Liquid Volume Flow	(L/h)	80.28	82.41			
Heat Flow	(kJ/h)	-1.068e+06	-8.827e+05			

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 สัดส่วนโดยโมลขององค์ประกอบต่างๆในกระบวนการผลิตนมผงอัดเม็ด (ความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง)

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\SIMULATION.HS
Unit Set: JBL
Date/Time: Thu Mar 15 22:14:00 2001

Workbook: Case (Main) (continued)

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *

Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0043
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0024
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0019
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9912

Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	CONC
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0043	0.0000	0.0083	0.0083
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0024	0.0000	0.0047	0.0047
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0019	0.0000	0.0037	0.0037
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9912	1.0000	0.9831	0.9831

Name	FEED(2)	P-FEED(2)	PRE-HEAT(2)	STEAM1(2)	STEAM2(2)
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0051	0.0051	0.0000 *	0.0000
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0028	0.0028	0.0000 *	0.0000
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0023	0.0023	0.0000 *	0.0000
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0001	0.0001	0.0000 *	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9898	0.9898	1.0000 *	1.0000

Name	S1-FEED(2)	STEAM3(2)	STEAM4(2)	VAP1(2)	LIQ1(2)
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0051	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0081
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0028	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0046
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0023	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0036
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0001	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	0.9898	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9836

Name	S2-FEED(2)	WASTE(2)	VAP2(2)	LIQ2(2)	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0081	0.0000	0.0000	0.0219	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0046	0.0000	0.0000	0.0123	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0036	0.0000	0.0000	0.0098	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0001	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	0.9836	1.0000	1.0000	0.9558	0.9940

Name	M-FEED(2)	P-CONC
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0051	0.0083
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0028	0.0047
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0023	0.0037
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0001	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	0.9898	0.9831

Hyprotech Ltd. HYSYS.ProcessNetVers v2.1.1 (Build 3198) Page 2 of 2

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการ

ในการศึกษานี้ จะศึกษาเฉพาะกระบวนการระเหยในรอบที่ 1 เท่านั้นและจะใช้สภาวะของกระบวนการคล้ายกับสภาวะที่ใช้ในการจำลอง ยกเว้นบางตัวแปรที่ต้องการศึกษา ซึ่งได้แก่

6.2.1 อัตราการไหลของน้ำนมดิบ

เมื่อให้ อัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 1 23.00 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

อัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 75.00 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 31.16 กิโลปาสคาล

ความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 12.34 กิโลปาสคาล

ตารางที่ 6.6 สัดส่วนโดยมวลของของแข็งที่ได้จากการระเหยที่อัตราการไหลต่างๆของน้ำนมดิบ

อัตราการไหลของน้ำนมดิบ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	สัดส่วนโดยมวลของของแข็ง	
	น้ำนมที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 1	น้ำนมที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 2
230	0.1801	0.3366
240	0.1758	0.3090
250	0.1720	0.2828
260	0.1686	0.2698
270	0.1656	0.2554

จากตารางที่ 6.6 จะได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้สัดส่วนโดยมวลของของแข็งของน้ำนมที่ออกจากเครื่องระเหยมีค่าลดลง หรือสัดส่วนโดยมวลของน้ำมีค่ามากขึ้น ซึ่งหมายความว่ามีอัตราการระเหยลดลง เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำนมดิบจะเป็นการเพิ่มอัตราการไหลของฟิล์มของของเหลว ซึ่งจะทำให้ฟิล์มของเหลวมีความหนามากขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการระเหยมีค่าลดลง จึงทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้น้อยลงและเกิดการระเหยได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 อัตราการไหลของไอน้ำ

ในการศึกษาผลของอัตราการไหลของไอน้ำนี้จะไม่ทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 1 เพราะต้องการรักษาอุณหภูมิภายในเครื่องอุ่นสารป้อนให้มีค่าคงที่คือ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากถ้าอุณหภูมิภายในเครื่องอุ่นสารป้อนมีค่าสูงเกินไปจะส่งผลต่อคุณภาพของน้ำนมได้ ดังนั้นจึงได้ทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเฉพาะไอน้ำสายที่ 3 ซึ่งจะไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในเครื่องระเหยแต่จะส่งผลต่ออัตราการระเหย โดยสภาวะที่ใช้ได้แก่

อัตราการไหลของน้ำนมดิบ 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 31.16 กิโลปาสคาล

ความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 12.34 กิโลปาสคาล

ตารางที่ 6.7 สัดส่วนโดยมวลของของแข็งที่ได้จากการระเหยเมื่ออัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 มีค่าต่างๆ

อัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	สัดส่วนโดยมวลของของแข็ง	
	น้ำนมที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 1	น้ำนมที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 2
65	0.1633	0.2452
70	0.1675	0.2646
75	0.1720	0.2828
80	0.1766	0.3143
85	0.1884	0.3470

จากตารางที่ 6.7 จะได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของไอน้ำเพิ่มขึ้น มีผลทำให้สัดส่วนโดยมวลของของแข็งของน้ำนมที่ออกจากเครื่องระเหยมีค่ามากขึ้น หรือสัดส่วนโดยมวลของน้ำมีค่าลดลง ซึ่งหมายความว่ามีอัตราการระเหยมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของไอน้ำจะเป็นการเพิ่มปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทภายในเครื่องระเหย จึงทำให้เกิดการระเหยได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.3 ความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1

เมื่อให้ อัตราการไหลของน้ำนมดิบ 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

อัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 1 23.00 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

อัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 75.00 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 12.34 กิโลปาสคาล

ตารางที่ 6.8 สัดส่วนโดยมวลของของแข็งที่ได้จากการระเหยเมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 มีค่าต่างๆ

ความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 (กิโลปาสคาล)	สัดส่วนโดยมวลของของแข็ง	
	น้ำนมที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 1	น้ำนมที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 2
38.55	0.1703	0.2828
31.16	0.1720	0.2873
19.92	0.1754	0.3001
12.34	0.1788	0.3143

จากตารางที่ 6.8 จะได้ว่าเมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 มีค่าลดลง จะมีผลทำให้สัดส่วนโดยมวลของของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นหรือสัดส่วนโดยมวลของน้ำมีค่าลดลง ซึ่งหมายความว่ามีอัตราการระเหยมากขึ้น เนื่องจากการลดความดันไอลงจะทำให้อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนวัฏภาคหรือเกิดการระเหยได้น้อยลง จึงทำให้เกิดการระเหยในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 ได้ง่ายขึ้น ทำให้ได้ไอที่ได้จากการระเหยมากขึ้น ซึ่งไอนี้จะใช้เป็นสารที่ให้ความร้อนภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 จึงเป็นการเพิ่มความร้อนที่ถ่ายเทภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.4 ความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2

เมื่อให้ อัตราการไหลของน้ำนมดิบ 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

อัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 1 23.00 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

อัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 75.00 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 31.16 กิโลปาสคาล

ตารางที่ 6.9 สัดส่วนโดยมวลของของแข็งที่ได้จากการระเหยเมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 มีค่าต่างๆ

ความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 (กิโลปาสคาล)	สัดส่วนโดยมวลของของแข็ง	
	น้ำนมที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 1	น้ำนมที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 2
31.16	0.1720	0.2755
19.92	0.1720	0.2814
12.34	0.1720	0.2873
8.00	0.1720	0.2925

จากตารางที่ 6.9 จะได้ว่าเมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 มีค่าลดลง จะมีผลทำให้สัดส่วนโดยมวลของของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นหรือสัดส่วนโดยมวลของน้ำมีค่าลดลง ซึ่งหมายความว่ามีอัตราการระเหยมากขึ้น เนื่องจากการลดความดันไอลงจะทำให้อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนวัฏภาคหรือเกิดการระเหยได้น้อยลง ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิของไอน้ำกับอุณหภูมิของน้ำนมภายในเครื่องระเหยมีค่ามากขึ้น จึงเกิดการระเหยได้มากขึ้น แต่ในการลดความดันไอในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 จะไม่มีผลต่อสัดส่วนโดยมวลของของแข็งในน้ำนมที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 1 แต่จะมีผลต่อสัดส่วนโดยมวลของของแข็งในน้ำนมที่ออกจากเครื่องระเหยขั้นที่ 2 เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การปรับปรุงกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบ

จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการที่ผ่านมา ในหัวข้อนี้จะเป็นการปรับปรุงกระบวนการโดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านั้น โดยเฉพาะอัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำซึ่งเป็นค่าที่สามารถปรับได้จริงและมีผลต่ออัตราการระเหยเท่านั้น ส่วนค่าความดันไอภายในเครื่องระเหยจะไม่นำมาพิจารณาถึง เนื่องจากการลดความดันมากๆมักทำให้เกิดปัญหาการรั่วของระบบสุญญากาศ

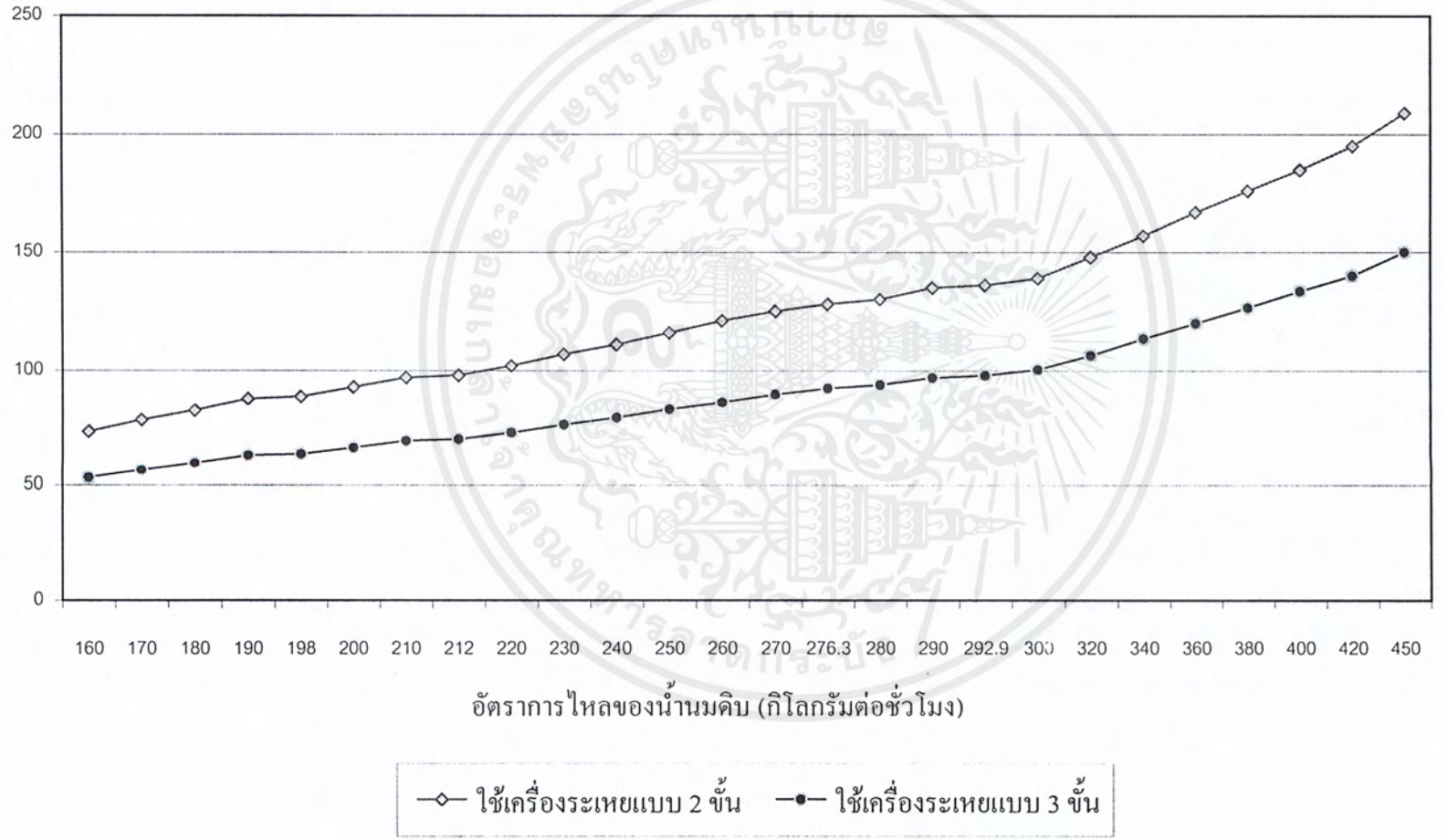
6.3.1 การปรับปรุงชุดเครื่องระเหย

จากรูปที่ 6.4 และรูปที่ 6.5 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลของน้ำนมดิบกับอัตราการไหลของไอน้ำของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 42 และ 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง ตามลำดับ จะได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของไอน้ำจะมีค่ามากขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ระหว่างการใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น กับเครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น ซึ่งเป็นการเพิ่มการระเหยขึ้นมาอีก 1 ขั้น โดยในขั้นนี้จะใช้พลังงานจากไอที่ได้จากการระเหยในขั้นที่ 2 พิจารณาได้ 2 กรณีดังนี้คือ

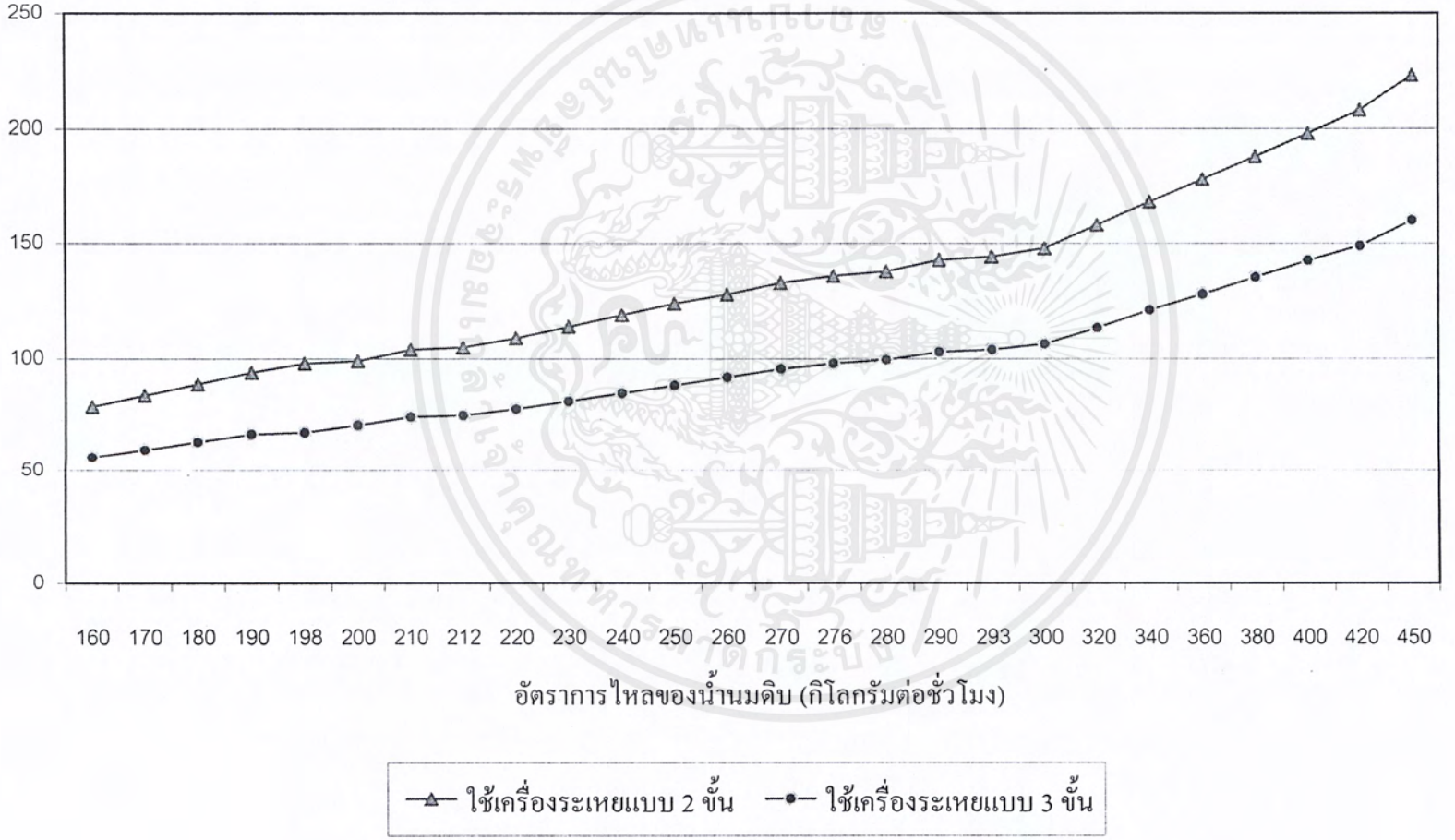
- ที่อัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากัน เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้นจะใช้อัตราการไหลของไอน้ำน้อยกว่าเครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น ซึ่งจะเป็นการประหยัดพลังงานได้มากกว่า
- ที่อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากัน เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้นจะใช้อัตราการไหลของน้ำนมดิบได้สูงกว่าเครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น ทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ออกมาเร็วกว่า ซึ่งจะเป็นการประหยัดเวลาได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.4 เปรียบเทียบการใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น กับ 3 ขั้น ในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบ ให้เป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง



รูปที่ 6.5 เปรียบเทียบการใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น กับ 3 ขั้น ในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบ ให้เป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง



6.3.2 การปรับปรุงสภาวะของกระบวนการ

ในการปรับปรุงสภาวะของกระบวนการนี้ จะพิจารณาโดยเปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำกับรายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งนมผงและนมผงอัดเม็ดที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 42 และ 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง ตามลำดับ โดยใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น และเครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น ซึ่งนมผงจะมีราคา 75 บาทต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ส่วนนมผงอัดเม็ดจะมีราคา 350 บาทต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม แสดงดังรูปที่ 6.6-6.9

จากหัวข้อการจำลองกระบวนการ ถ้าต้องการระเหยน้ำนมดิบให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการจะต้องทำการระเหยอย่างน้อย 2 รอบ แต่เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6.6 และรูปที่ 6.7 จะเห็นได้ว่าสามารถปรับปรุงกระบวนการให้เกิดการระเหยเพียงรอบเดียวแล้วได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการได้ โดยการกำหนดอัตราการไหลของไอน้ำให้สัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำนมดิบซึ่งจะพิจารณาได้ 2 กรณีคือ

- ถ้าใช้อัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่าเดิมคือ 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง จะต้องเพิ่มอัตราการไหลของไอน้ำเป็น 116 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ถ้าต้องการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง จะต้องเพิ่มอัตราการไหลของไอน้ำเป็น 124 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

- ถ้าใช้อัตราการไหลของไอน้ำเท่าเดิมคือ 98 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง จะต้องลดอัตราการไหลของน้ำนมดิบเป็น 212 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่วนในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง จะต้องลดอัตราการไหลของน้ำนมดิบเป็น 198 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

และเมื่อพิจารณาสภาวะของกระบวนการสำหรับเครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น จากรูปที่ 6.8 และรูปที่ 6.9 จะได้ว่า

- ถ้าใช้อัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง จะต้องใช้อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 83.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และถ้าต้องการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง จะต้องใช้อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 88.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

- ถ้าใช้อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 98 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง จะต้องใช้อัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

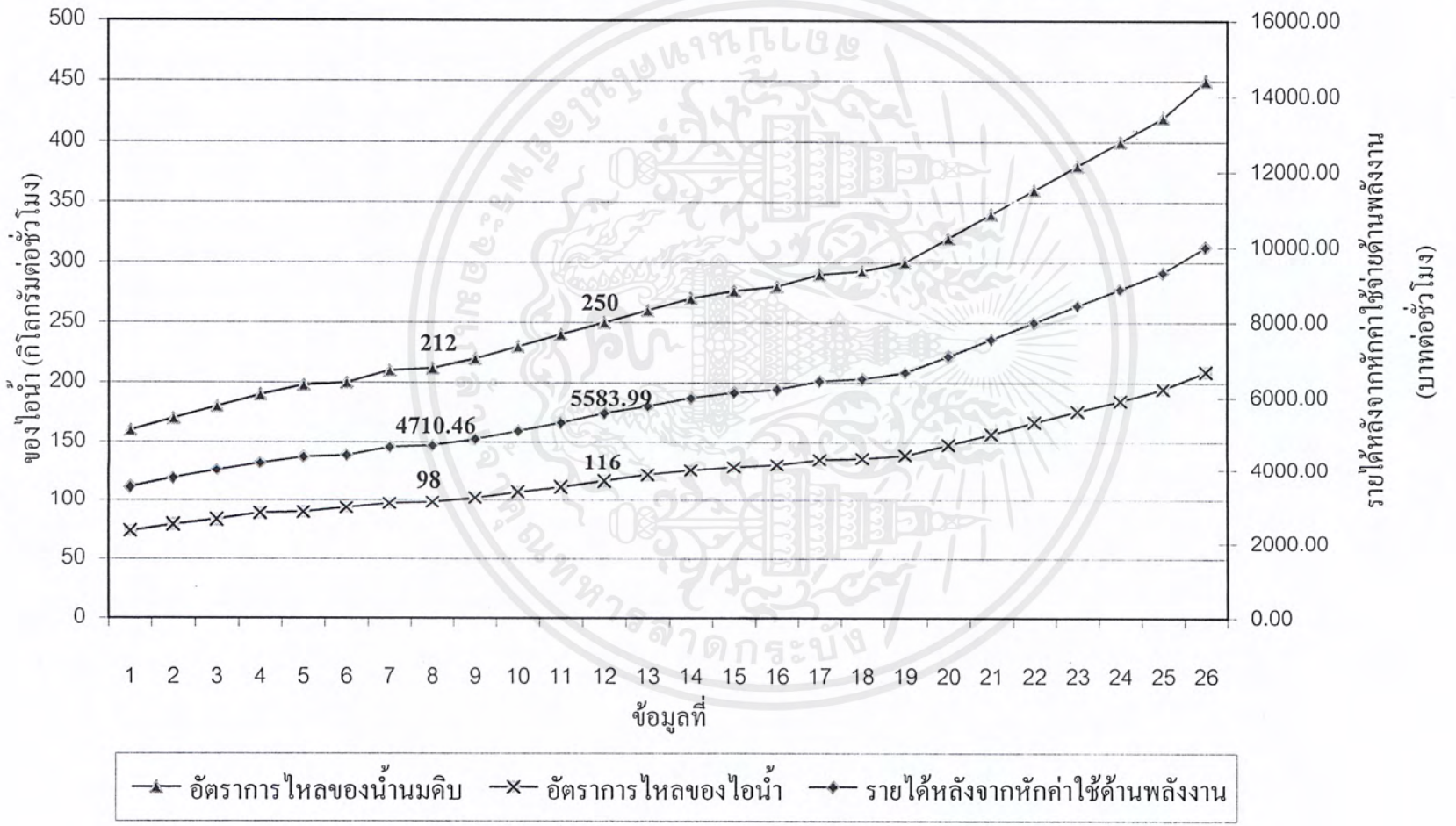
292.86 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง จะต้องใช้อัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 276.25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 6.6-6.9 จะเห็นว่า รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อหน่วยเวลาจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำ ซึ่งก็คือ เมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบสูงขึ้น จะต้องใช้อัตราการไหลของไอน้ำเพิ่มขึ้น แต่ก็ทำให้ได้กำไรเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มปริมาณการผลิตเพื่อให้ได้รายได้มากขึ้น โดยการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำนมดิบก็จะต้องใช้กำลังการผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นด้วย แต่ทั้งนี้ควรมีการพิจารณาในเรื่องของข้อจำกัดสำหรับเครื่องระเหยหนึ่งๆด้วย ตัวอย่างเช่น เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้นของโรงนมผงสวนดุสิตที่นำมาศึกษานั้น ได้มีการออกแบบมาเพื่อใช้กับการระเหยที่อัตราการไหลของน้ำนมดิบไม่เกิน 450 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งถ้าสามารถเพิ่มกำลังการผลิตไอน้ำได้เต็มที่และต้องการผลิตให้ได้เท่ากับข้อจำกัดของเครื่องระเหยนี้ จะต้องใช้อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 209 กิโลกรัมต่อชั่วโมงเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง และถ้าต้องการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็งจะต้องใช้อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 223 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

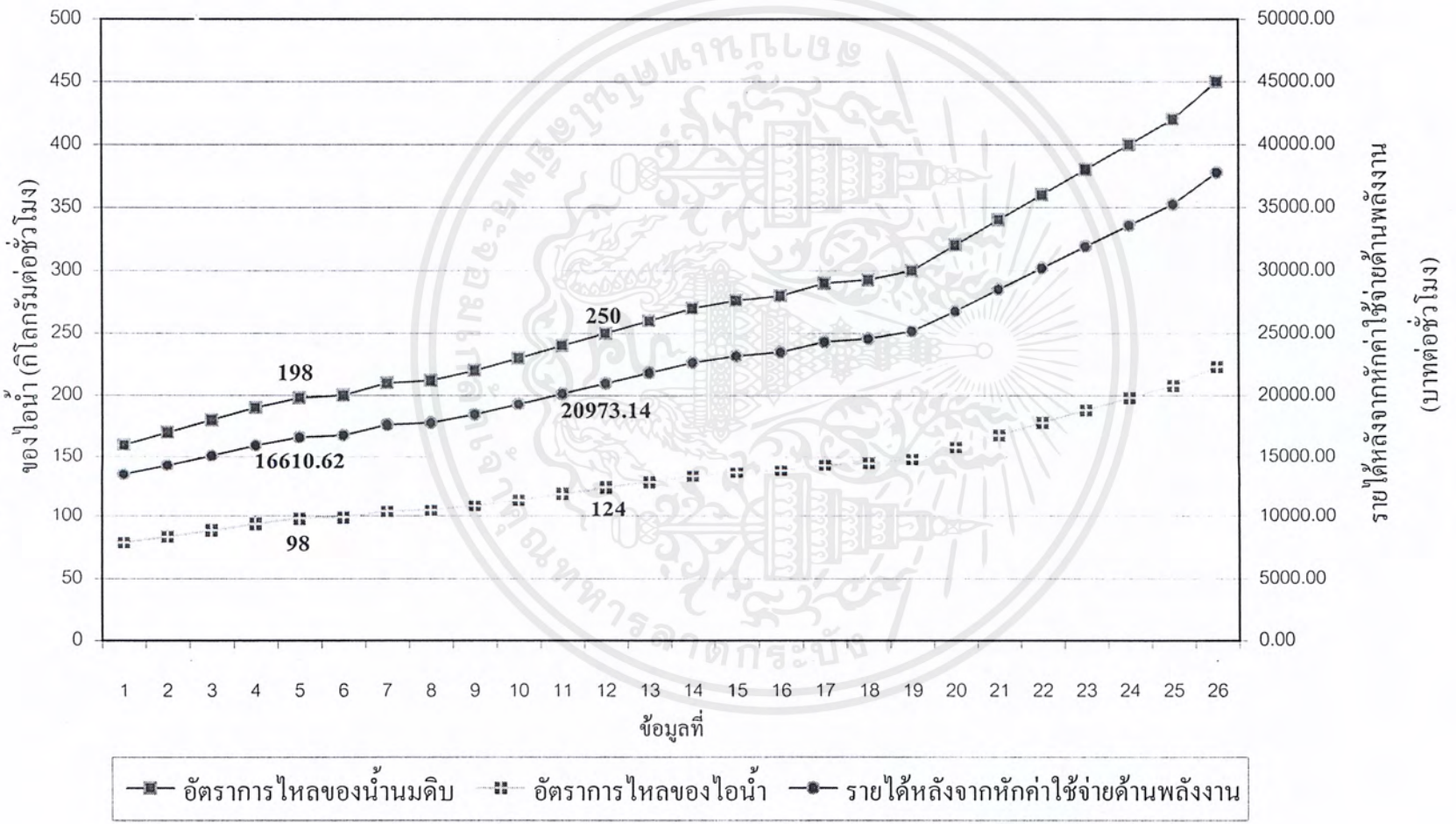
ถ้าพิจารณาในทำนองเดียวกันนี้สำหรับเครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น จะได้ว่าต้องใช้อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมงเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง และถ้าต้องการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้เป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็งจะต้องใช้อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 160 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

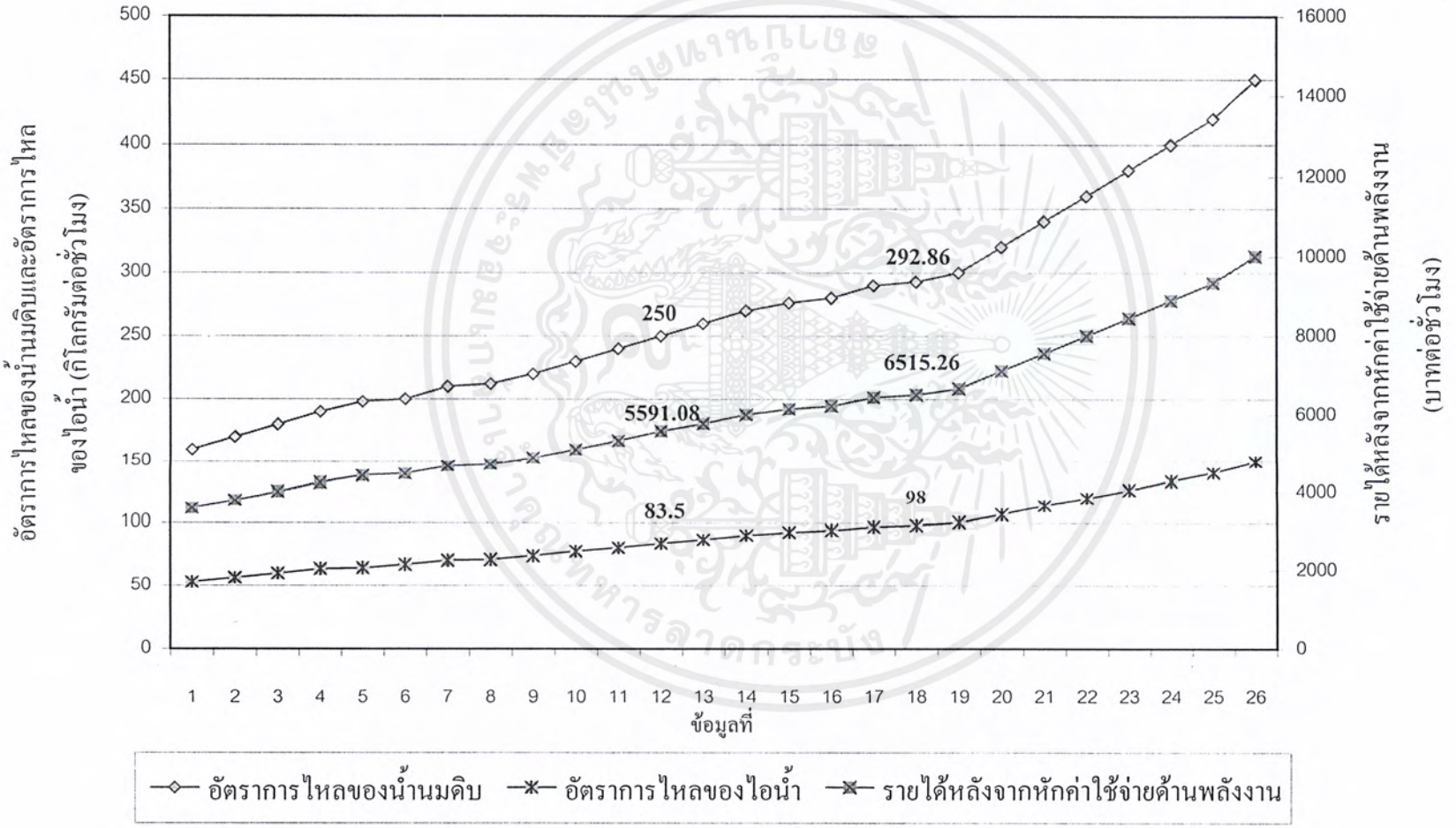
รูปที่ 6.6 เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้กับรายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการเพิ่มความเข้มข้นน้ำนมดิบเป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง โดยใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น



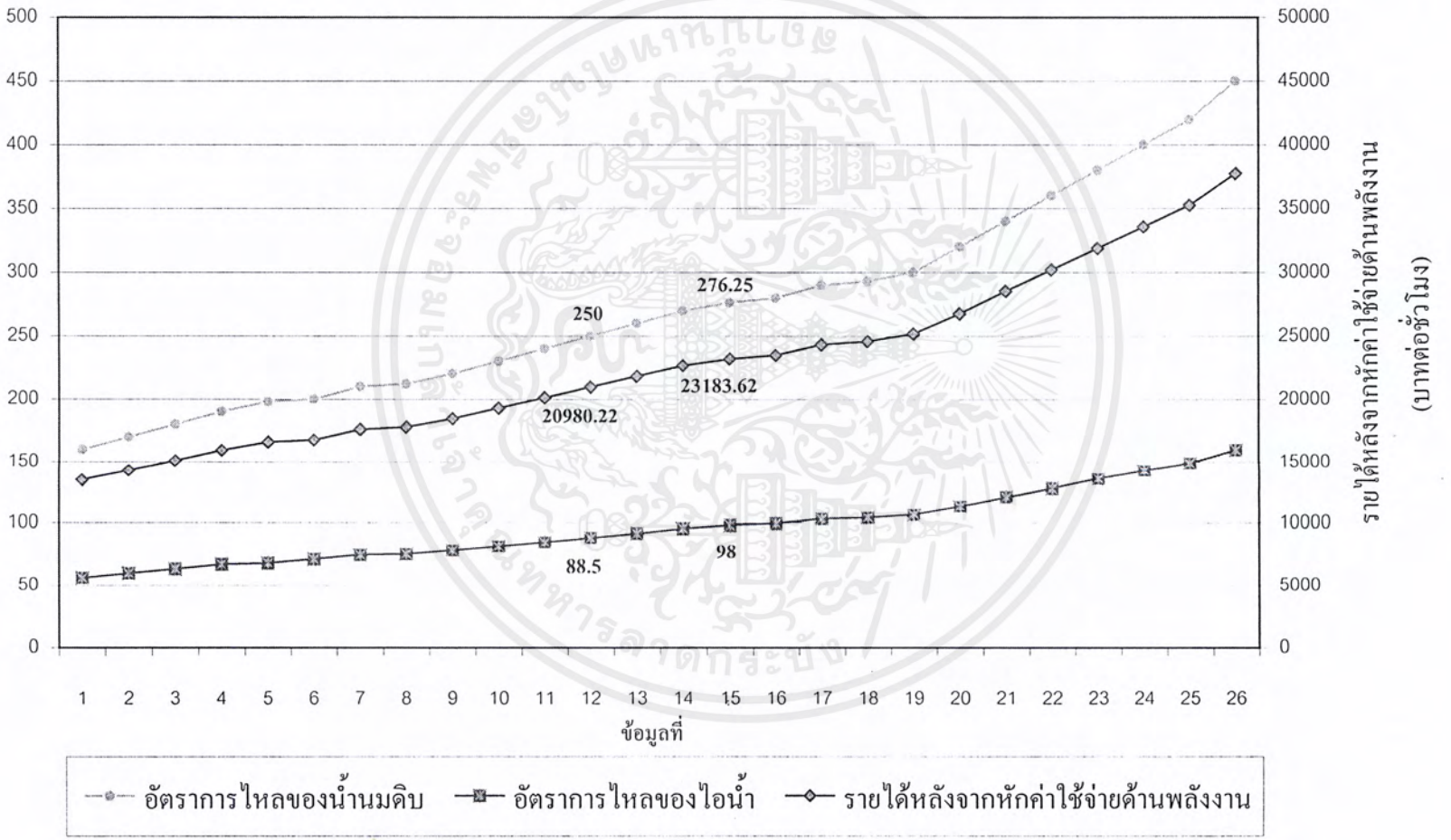
รูปที่ 6.7 เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้กับรายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการเพิ่มความเข้มข้นน้ำนมดิบเป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง โดยใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น



รูปที่ 6.8 เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้กับรายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการเพิ่มความเข้มข้นน้ำนมดิบเป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง โดยใช้เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น



รูปที่ 6.9 เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้กับรายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการเพิ่มความเข้มข้นน้ำนมดิบเป็น 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง โดยใช้เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น



บทที่ 7

สรุปผลการศึกษา

จากการจำลองกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบโดยใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น แล้วทำการศึกษาตัวแปรของกระบวนการ พบว่า อัตราการไหลของน้ำนมดิบ อัตราการไหลของไอน้ำ และความดันไอ มีผลต่อกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นกล่าวคือ อัตราการระเหยจะแปรผกผันกับอัตราการไหลของน้ำนมดิบและความดันไอ เมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบและความดันไอลดลงจะทำให้อัตราการระเหยเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อัตราการระเหยยังแปรผันตามอัตราการไหลของไอน้ำ โดยเมื่ออัตราการไหลของไอน้ำลดลงจะทำให้อัตราการระเหยลดลงตามไปด้วย แต่เนื่องจากความดันไอมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำนมดิบซึ่งไม่ควรเกิน 80 องศาเซลเซียสที่ทำให้น้ำนมเกิดการแปรสภาพ ผู้ทำการศึกษาจึงไม่ทำการเปลี่ยนแปลงความดันไอของเครื่องระเหย

จากการจำลองกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบให้ได้ความเข้มข้น 42 และ 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็งจะต้องเข้าสู่กระบวนการระเหยในเครื่องระเหยแบบ 2 ขั้นถึง 2 รอบ จึงจะได้ความเข้มข้นตามต้องการ ผู้ทำการศึกษาจึงทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำนมดิบหรืออัตราการไหลของไอน้ำ เพื่อให้เกิดการระเหยให้ได้น้ำนมเข้มข้น 42 และ 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง โดยผ่านกระบวนการระเหยเพียงรอบเดียว พบว่าจากสภาวะจริงที่ผลิตที่อัตราการไหลของน้ำนมดิบ 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะต้องใช้อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 116 และ 124 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งอัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้นี้เกินขีดความสามารถที่หม้อต้มน้ำผลิตได้คือ 98 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จึงต้องทำการลดอัตราการไหลของน้ำนมดิบแทนโดยลดลงมาที่ 212 และ 198 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งแม้ว่าอัตราการไหลที่ใช้นี้จะมีค่าลดลง แต่ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานเท่ากัน

จากการใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้นจะเห็นว่าไอที่ได้จากการระเหยของเครื่องระเหยขั้นที่ 2 จะปล่อยออกสู่บรรยากาศโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ซึ่งเป็นการใช้พลังงานอย่างไม่คุ้มค่า ผู้ทำการศึกษาจึงได้จำลองกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบโดยใช้เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้นเพื่อนำไอที่ได้จากเครื่องระเหยขั้นที่ 2 มาใช้ให้ความร้อนในเครื่องระเหยขั้นที่ 3 จากสภาวะจริงที่อัตรา-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมให้ได้ 42 และ 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง พบว่าต้องใช้อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 83.5 และ 88.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ หรือถ้าต้องการใช้ที่ขีดความสามารถสูงสุดของหม้อต้มน้ำ คือที่อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 98 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะสามารถผลิตได้มากขึ้นคือ สามารถผลิตได้ที่อัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 292.86 และ 276.25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบรายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานกับอัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำ พบว่าการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำนมดิบ แม้จะทำให้อัตราการไหลของไอน้ำเพิ่มขึ้น แต่รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงานก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งหมายถึงยิ่งเพิ่มอัตราการไหลของน้ำนมดิบก็ยิ่งทำให้ได้รายได้มากขึ้น แต่ในการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำนมดิบไม่ควรเกินขีดความสามารถของเครื่องระเหย ซึ่งขีดความสามารถสูงสุดสำหรับอัตราการไหลของน้ำนมดิบของเครื่องระเหยที่นำมาศึกษานี้เท่ากับ 450 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นในการเพิ่มความเข้มข้นน้ำนมดิบให้เป็น 42 และ 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง ควรใช้อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 209 และ 223 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับการใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น ส่วนสำหรับเครื่องระเหยแบบ 3 ขั้นควรใช้อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 150 และ 160 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Seider, Warren D.; Seader, J.D.; and Lewin, Daniel R. **Process Design Principles Synthesis, Analysis, and Evaluation.** John Wiley & Sons, Inc., 1999.
2. ภูริสา ดิฐกมล, และรดีบูรณ์ ชินสุทธิ. การศึกษาโปรแกรม HYSYS. รายงานวิชาการสัมมนาภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
3. รายงานการปรับปรุงระบบระเหยนม ณ โรงนมผงสวนดุสิต สวนจิตรลดา. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2530.
4. **Dairy Processing Handbook.** Sweden: Tetra Pak Processing Systems, 1995.
5. วรรณา ตั้งเจริญชัย, และวิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ. **นมและผลิตภัณฑ์นม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2531.
6. Christi J. Geankoplis. **Transport Processes and Unit Operations.** 3rd ed., Prentice-Hall International, Inc., 1995.
7. Hewitt, G.F.; shires, G.L.; and Bott, T.R. **Process Heat Transfer.** CRC Press, Inc., 1994.
8. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, รศ.ดร., และประเวศ อัศวดากร. **คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)., 2538.
9. Keenan, J.H.; Keyes, F.G.; and Hill, P.G. **Thermodynamic Properties of Water Industry, Vapor, Liquid, and Solid Phases.** John Wiley & Sons, Inc., 1978.

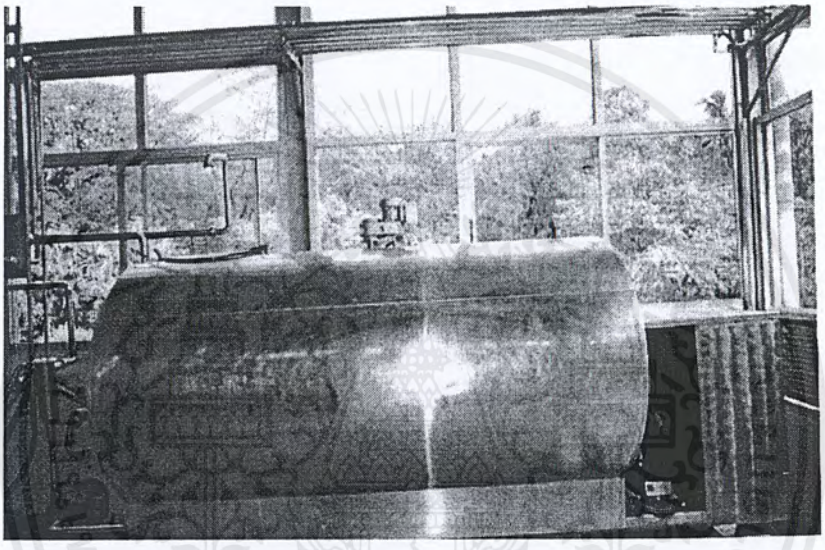
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

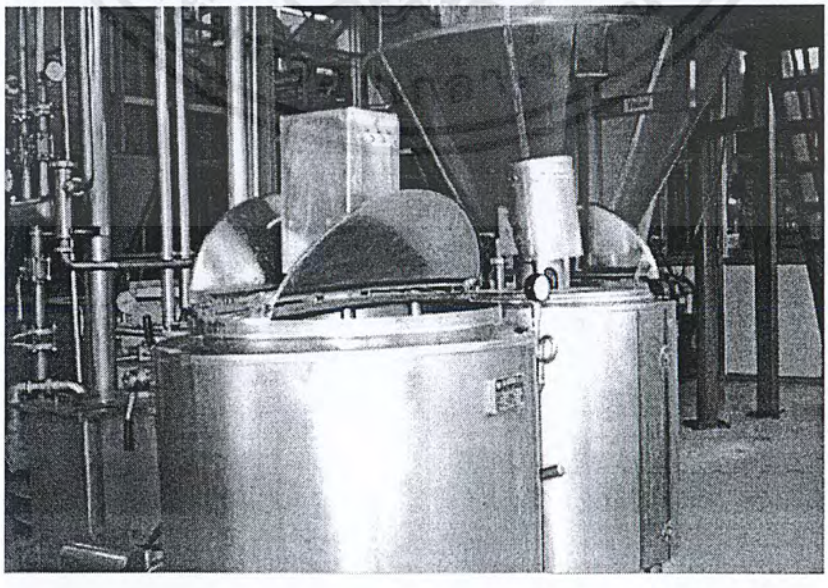
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

อุปกรณ์ที่ใช้ในโรงนมผงสวนดุสิต สวนจิตรลดา

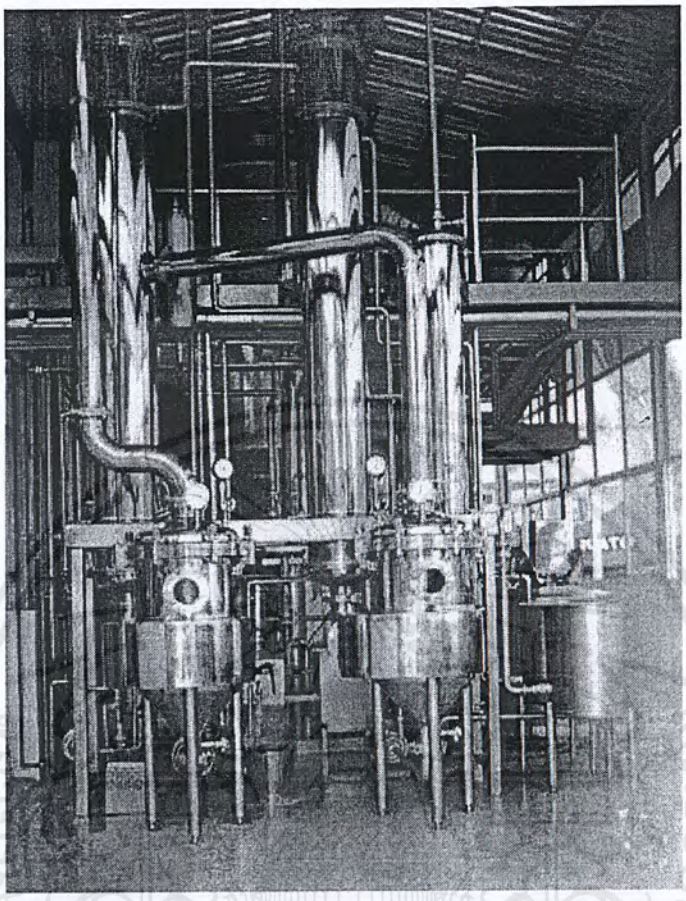


รูปที่ ก.1 ดูลลิ่งแท้งค์

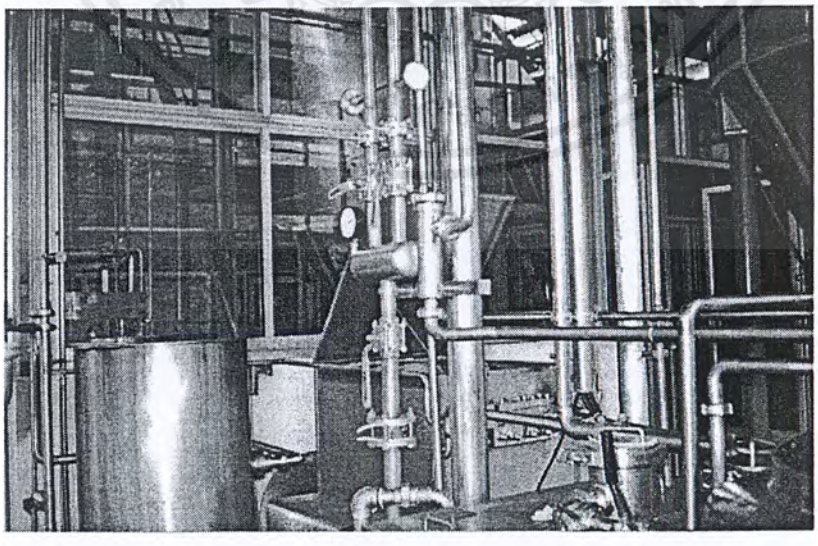


รูปที่ ก.2 ถังควบคุมระดับน้ำนม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

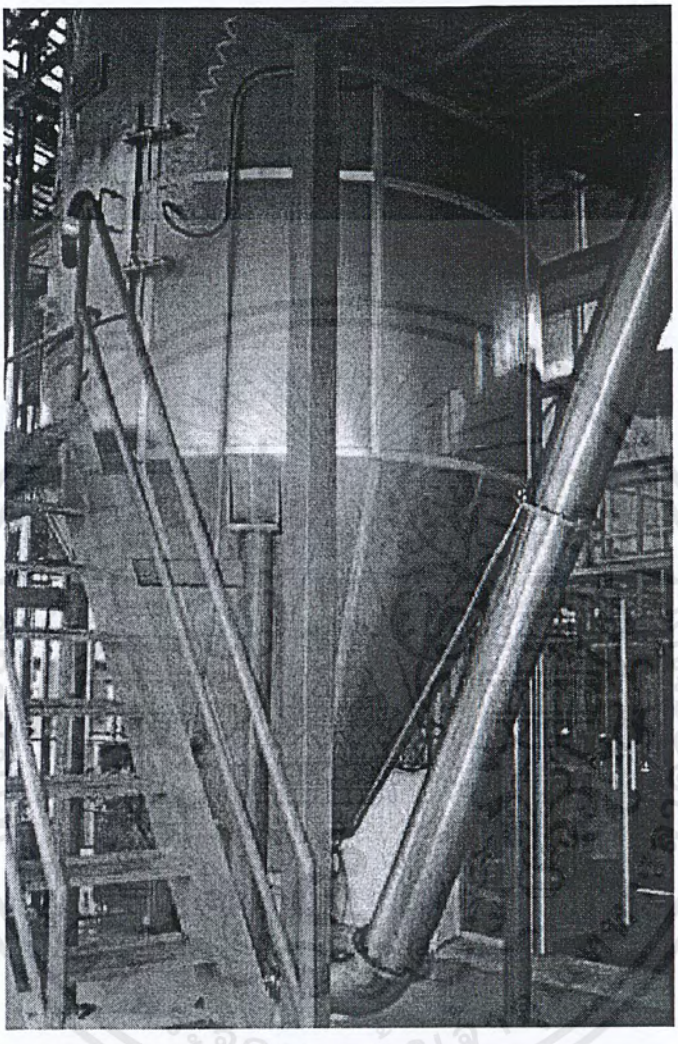


รูปที่ ก.3 ชุดเครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น



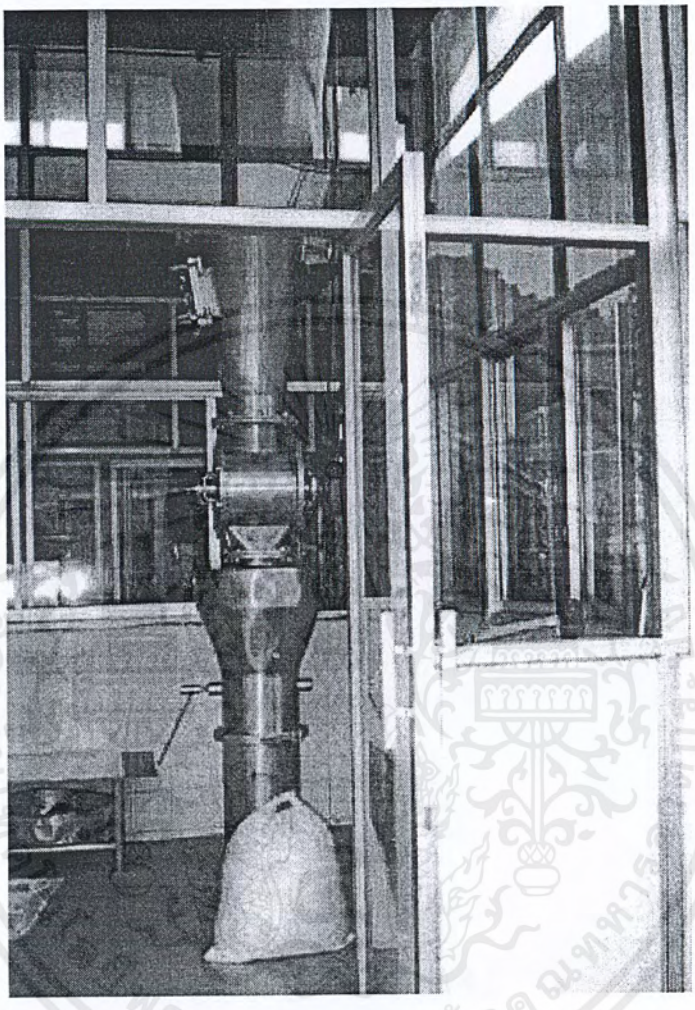
รูปที่ ก.4 ถังพักนมและโฮโมจีไนซ์เซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 เครื่องอบแห้งแบบพ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 ถังดักนมผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คุณสมบัติของสาร

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำนม [5], [6]

คุณสมบัติ	
จุดเยือกแข็ง (องศาเซลเซียส)	-0.55
จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	100.07
ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 16 องศาเซลเซียส)	1.032
ความจุความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม·เคลวิน)	
นมธรรมดา	3.90
นมพร่องมันเนย	4.00
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
นมธรรมดา	1030
นมพร่องมันเนย	1041
ความหนืด (เซนติพอยท์)	
นมธรรมดา	2.12
นมพร่องมันเนย	1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 องค์ประกอบของน้ำนม [4]

องค์ประกอบของน้ำนม	มวลโมเลกุล	เปอร์เซ็นต์โดยมวล
น้ำตาลแลกโตส	342.3	5
กรดโอเลอิก	282.47	2.32
กรดพาลเมติก	256.43	1.68
เคซีน	20648.04	3.5
น้ำ	18.02	87.5

ตารางที่ ข.3 ความจุความร้อนของน้ำที่ความดัน 101.325 กิโลปาสคาล [6]

อุณหภูมิ		ความจุความร้อน	
องศาเซลเซียส	องศาเคลวิน	แคลอรีต่อกรัม·องศาเซลเซียส	กิโลจูลต่อกิโลกรัม·องศาเคลวิน
0	273.15	1.0080	4.220
10	283.15	1.0019	4.195
20	293.15	0.9995	4.185
30	303.15	0.9987	4.181
40	313.15	0.9987	4.181
50	323.15	0.9992	4.183
60	333.15	1.0001	4.187
70	343.15	1.0013	4.192
80	353.15	1.0029	4.199
90	363.15	1.0050	4.208
100	373.15	1.0076	4.219

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ความจุความร้อนของไอน้ำที่ 101.325 กิโลปาสคาล [6]

อุณหภูมิ		ความจุความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม·องศาเคลวิน)
องศาเซลเซียส	องศาเคลวิน	
100	373.2	1.888
148.9	422.1	1.909
204.4	477.6	1.934
260	433.2	1.968
315.6	588.8	1.997
371.1	644.3	2.030
426.7	699.9	2.068

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ [9]

		Specific Volume		Internal Energy			Enthalpy			Entropy		
Temp. °C	Press. MPa	Sat. Liquid	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor
t	p	$10^3 v_f$	$10^3 v_g$	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0	.0006109	1.0002	206.278	-.03	2375.4	2375.3	-.02	2501.4	2501.3	.0001	9.1556	9.1565
.01	.0006113	1.0002	206.136	.00	2375.3	2375.3	.01	2501.3	2501.4	.0000	9.1562	9.1562
1	.0006567	1.0002	192.577	4.15	2372.6	2376.7	4.16	2499.0	2503.2	.0152	9.1147	9.1299
2	.0007056	1.0001	179.889	8.36	2369.7	2378.1	8.37	2496.7	2505.0	.0305	9.0730	9.1035
3	.0007577	1.0001	168.132	12.56	2366.9	2379.5	12.57	2494.3	2506.9	.0457	9.0316	9.0773
4	.0008131	1.0001	157.232	16.77	2364.1	2380.9	16.78	2491.9	2508.7	.0610	8.9904	9.0514
5	.0008721	1.0001	147.120	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	.0761	8.9496	9.0257
6	.0009349	1.0001	137.734	25.19	2358.4	2383.6	25.20	2487.2	2512.4	.0912	8.9090	9.0003
7	.0010016	1.0002	129.017	29.38	2355.6	2385.0	29.39	2484.8	2514.2	.1062	8.8688	8.9751
8	.0010724	1.0002	120.917	33.59	2352.8	2386.4	33.60	2482.5	2516.1	.1212	8.8289	8.9501
9	.0011477	1.0003	113.386	37.80	2350.0	2387.8	37.80	2480.1	2517.9	.1362	8.7892	8.9253
10	.0012276	1.0004	106.379	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	.1510	8.7498	8.9008
11	.0013123	1.0004	99.857	46.20	2344.3	2390.5	46.20	2475.4	2521.6	.1658	8.7107	8.8765
12	.0014022	1.0005	93.784	50.41	2341.5	2391.9	50.41	2473.0	2523.4	.1806	8.6718	8.8524
13	.0014974	1.0007	88.124	54.60	2338.7	2393.3	54.60	2470.7	2525.3	.1953	8.6332	8.8285
14	.0015983	1.0008	82.848	58.79	2335.9	2394.7	58.80	2468.3	2527.1	.2099	8.5949	8.8048
15	.0017051	1.0009	77.926	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	.2245	8.5569	8.7814
16	.0018181	1.0011	73.333	67.18	2330.3	2397.4	67.19	2463.6	2530.8	.2390	8.5191	8.7582
17	.0019376	1.0012	69.044	71.38	2327.4	2398.8	71.38	2461.2	2532.6	.2535	8.4816	8.7351
18	.0020640	1.0014	65.038	75.57	2324.6	2400.2	75.58	2458.8	2534.4	.2679	8.4443	8.7123
19	.0021975	1.0016	61.293	79.76	2321.8	2401.6	79.77	2456.5	2536.2	.2823	8.4073	8.6897
20	.002339	1.0018	57.791	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	.2966	8.3706	8.6672
21	.002487	1.0020	54.514	88.14	2316.2	2404.3	88.14	2451.8	2539.9	.3109	8.3341	8.6450
22	.002645	1.0022	51.447	92.32	2313.3	2405.7	92.33	2449.4	2541.7	.3251	8.2979	8.6229
23	.002810	1.0024	48.574	96.51	2310.5	2407.0	96.52	2447.0	2543.5	.3393	8.2618	8.6011
24	.002985	1.0027	45.883	100.70	2307.7	2408.4	100.70	2444.7	2545.4	.3534	8.2261	8.5794
25	.003169	1.0029	43.360	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	.3674	8.1905	8.5580
26	.003363	1.0032	40.994	109.06	2302.1	2411.1	109.07	2439.9	2549.0	.3814	8.1552	8.5367
27	.003567	1.0035	38.774	113.25	2299.3	2412.5	113.25	2437.6	2550.8	.3954	8.1202	8.5156
28	.003782	1.0037	36.690	117.42	2296.4	2413.9	117.43	2435.2	2552.6	.4093	8.0854	8.4946
29	.004008	1.0040	34.733	121.60	2293.6	2415.2	121.61	2432.8	2554.5	.4231	8.0508	8.4739
30	.004246	1.0043	32.894	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	.4369	8.0164	8.4533
31	.004496	1.0046	31.165	129.96	2288.0	2418.0	129.97	2428.1	2558.1	.4507	7.9822	8.4329
32	.004759	1.0050	29.540	134.14	2285.2	2419.3	134.15	2425.7	2559.9	.4644	7.9483	8.4127
33	.005034	1.0053	28.011	138.32	2282.4	2420.7	138.33	2423.4	2561.7	.4781	7.9146	8.3927
34	.005324	1.0056	26.571	142.50	2279.5	2422.0	142.50	2421.0	2563.5	.4917	7.8811	8.3728
35	.005628	1.0060	25.216	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	.5053	7.8478	8.3531
36	.005947	1.0063	23.940	150.85	2273.9	2424.7	150.86	2416.2	2567.1	.5188	7.8147	8.3336
37	.006281	1.0067	22.737	155.03	2271.1	2426.1	155.03	2413.9	2568.9	.5323	7.7819	8.3142
38	.006632	1.0071	21.602	159.20	2268.2	2427.4	159.21	2411.5	2570.7	.5458	7.7492	8.2950
39	.006999	1.0074	20.533	163.38	2265.4	2428.8	163.39	2409.1	2572.5	.5592	7.7167	8.2759
40	.007384	1.0078	19.523	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	.5725	7.6845	8.2570
41	.007786	1.0082	18.570	171.73	2259.7	2431.5	171.74	2404.3	2576.1	.5858	7.6524	8.2383
42	.008208	1.0086	17.671	175.91	2256.9	2432.8	175.91	2401.9	2577.9	.5991	7.6206	8.2197
43	.008649	1.0090	16.821	180.08	2254.1	2434.2	180.10	2399.5	2579.6	.6123	7.5889	8.2012
44	.009111	1.0095	16.018	184.26	2251.2	2435.5	184.27	2397.2	2581.4	.6255	7.5574	8.1829
45	.009593	1.0099	15.258	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	.6387	7.5261	8.1648
46	.010098	1.0103	14.540	192.61	2245.6	2438.2	192.62	2392.4	2585.0	.6518	7.4950	8.1468
47	.010624	1.0108	13.861	196.79	2242.7	2439.5	196.80	2390.0	2586.8	.6648	7.4642	8.1290
48	.011175	1.0112	13.218	200.96	2239.9	2440.8	200.97	2387.6	2588.5	.6779	7.4334	8.1113
49	.011749	1.0117	12.609	205.14	2237.0	2442.2	205.15	2385.2	2590.3	.6908	7.4029	8.0937
50	.012349	1.0121	12.032	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	7.3725	8.0763
51	.012975	1.0126	11.485	213.50	2231.3	2444.8	213.51	2380.3	2593.8	.7167	7.3423	8.0590
52	.013628	1.0131	10.968	217.67	2228.5	2446.1	217.69	2377.9	2595.6	.7296	7.3123	8.0419
53	.014309	1.0136	10.476	221.85	2225.6	2447.5	221.87	2375.5	2597.4	.7424	7.2825	8.0249
54	.015019	1.0141	10.011	226.03	2222.8	2448.8	226.04	2373.1	2599.1	.7552	7.2528	8.0080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (ต่อ)

		Specific Volume		Internal Energy			Enthalpy			Entropy		
Temp. °C	Press. MPa	Sat. Liquid	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor
t	p	$10^3 v_f$	$10^3 v_g$	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
55	.015758	1.0146	9568.	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.2234	7.9913
56	.016529	1.0151	9149.	234.39	2217.0	2451.4	234.41	2368.2	2602.6	.7807	7.1940	7.9747
57	.017331	1.0156	8751.	238.57	2214.2	2452.7	238.59	2365.8	2604.4	.7933	7.1649	7.9582
58	.018166	1.0161	8372.	242.75	2211.3	2454.0	242.77	2363.4	2606.1	.8060	7.1359	7.9419
59	.019036	1.0166	8013.	246.93	2208.4	2455.3	246.95	2360.9	2607.9	.8186	7.1071	7.9257
60	.019940	1.0172	7671.	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.0784	7.9096
61	.020881	1.0177	7346.	255.29	2202.7	2458.0	255.31	2356.0	2611.3	.8437	7.0499	7.8936
62	.021860	1.0182	7037.	259.47	2199.8	2459.3	259.49	2353.6	2613.1	.8562	7.0216	7.8778
63	.022877	1.0188	6743.	263.66	2196.9	2460.6	263.68	2351.1	2614.8	.8686	6.9934	7.8621
64	.023934	1.0194	6463.	267.84	2194.0	2461.8	267.86	2348.7	2616.5	.8811	6.9654	7.8465
65	.02503	1.0199	6197.	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	6.9375	7.8310
66	.02617	1.0205	5943.	276.21	2188.2	2464.4	276.23	2343.7	2620.0	.9058	6.9098	7.8156
67	.02736	1.0211	5701.	280.39	2185.3	2465.7	280.42	2341.3	2621.7	.9181	6.8822	7.8004
68	.02859	1.0217	5471.	284.58	2182.4	2467.0	284.61	2338.8	2623.4	.9304	6.8548	7.7852
69	.02986	1.0222	5252.	288.76	2179.5	2468.3	288.80	2336.3	2625.1	.9427	6.8275	7.7702
70	.03119	1.0228	5042.	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	.9549	6.8004	7.7553
71	.03256	1.0234	4843.	297.14	2173.7	2470.8	297.17	2331.4	2628.5	.9671	6.7734	7.7405
72	.03399	1.0240	4652.	301.33	2170.8	2472.1	301.36	2328.9	2630.2	.9792	6.7466	7.7258
73	.03546	1.0247	4470.	305.51	2167.9	2473.4	305.56	2326.4	2631.9	.9914	6.7199	7.7113
74	.03699	1.0253	4297.	309.70	2165.0	2474.7	309.74	2323.9	2633.6	1.0034	6.6934	7.6968
75	.03858	1.0259	4131.	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
76	.04022	1.0265	3973.	318.09	2159.1	2477.2	318.13	2318.9	2637.0	1.0275	6.6407	7.6682
77	.04192	1.0272	3822.	322.28	2156.2	2478.4	322.32	2316.3	2638.7	1.0395	6.6145	7.6540
78	.04368	1.0278	3677.	326.47	2153.2	2479.7	326.51	2313.8	2640.3	1.0515	6.5885	7.6400
79	.04550	1.0285	3539.	330.66	2150.3	2481.0	330.72	2311.3	2642.0	1.0634	6.5627	7.6260
80	.04739	1.0291	3407.	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
81	.04934	1.0298	3281.	339.05	2144.4	2483.5	339.10	2306.2	2645.3	1.0871	6.5113	7.5985
82	.05136	1.0305	3160.	343.25	2141.5	2484.7	343.30	2303.7	2647.0	1.0990	6.4858	7.5848
83	.05345	1.0311	3044.	347.45	2138.5	2485.9	347.50	2301.1	2648.6	1.1108	6.4605	7.5713
84	.05560	1.0318	2934.	351.64	2135.5	2487.2	351.70	2298.6	2650.3	1.1225	6.4353	7.5578
85	.05783	1.0325	2828.	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
86	.06014	1.0332	2726.	360.04	2129.6	2489.6	360.10	2293.5	2653.6	1.1460	6.3852	7.5312
87	.06252	1.0339	2629.	364.24	2126.6	2490.9	364.30	2290.9	2655.2	1.1577	6.3604	7.5180
88	.06498	1.0346	2536.	368.44	2123.7	2492.1	368.51	2288.3	2656.9	1.1693	6.3356	7.5050
89	.06752	1.0353	2446.	372.64	2120.7	2493.3	372.71	2285.8	2658.5	1.1809	6.3110	7.4920
90	.07014	1.0360	2361.	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
91	.07284	1.0367	2278.	381.05	2114.7	2495.8	381.12	2280.6	2661.7	1.2041	6.2622	7.4663
92	.07564	1.0375	2200.	385.26	2111.7	2497.0	385.33	2278.0	2663.3	1.2156	6.2379	7.4536
93	.07852	1.0382	2124.	389.46	2108.7	2498.2	389.54	2275.4	2664.9	1.2271	6.2138	7.4409
94	.08149	1.0389	2052.	393.67	2105.7	2499.4	393.75	2272.8	2666.5	1.2386	6.1898	7.4284
95	.08455	1.0397	1981.9	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159
96	.08771	1.0404	1915.0	402.09	2099.7	2501.8	402.17	2267.6	2669.7	1.2615	6.1421	7.4036
97	.09097	1.0412	1850.8	406.30	2096.7	2503.0	406.39	2264.9	2671.3	1.2728	6.1184	7.3913
98	.09433	1.0420	1789.1	410.51	2093.6	2504.1	410.61	2262.3	2672.9	1.2842	6.0948	7.3791
99	.09778	1.0427	1729.9	414.72	2090.6	2505.3	414.83	2259.7	2674.5	1.2956	6.0714	7.3669
100	.10135	1.0435	1672.9	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
101	.10502	1.0443	1618.2	423.15	2084.5	2507.7	423.26	2254.4	2677.6	1.3181	6.0248	7.3429
102	.10880	1.0451	1565.5	427.37	2081.5	2508.9	427.48	2251.7	2679.2	1.3294	6.0016	7.3310
103	.11269	1.0459	1514.9	431.58	2078.5	2510.0	431.71	2249.0	2680.7	1.3406	5.9786	7.3192
104	.11669	1.0467	1466.2	435.80	2075.4	2511.2	435.92	2246.4	2682.3	1.3518	5.9557	7.3075
105	.12082	1.0475	1419.4	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3630	5.9328	7.2958
106	.12506	1.0483	1374.3	444.24	2069.3	2513.5	444.37	2241.0	2685.4	1.3741	5.9101	7.2843
107	.12942	1.0491	1330.9	448.47	2066.2	2514.7	448.60	2238.3	2686.9	1.3853	5.8875	7.2728
108	.13391	1.0499	1289.1	452.69	2063.1	2515.8	452.83	2235.6	2688.4	1.3964	5.8650	7.2613
109	.13853	1.0508	1248.9	456.92	2060.0	2517.0	457.06	2232.9	2690.0	1.4074	5.8425	7.2500
110	.14327	1.0516	1210.2	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
111	.14815	1.0525	1172.8	465.37	2053.9	2519.2	465.53	2227.5	2693.0	1.4295	5.7980	7.2275
112	.15317	1.0533	1136.9	469.60	2050.8	2520.4	469.76	2224.7	2694.5	1.4405	5.7758	7.2163
113	.15832	1.0542	1102.2	473.84	2047.7	2521.5	474.01	2222.0	2696.0	1.4515	5.7538	7.2052
114	.16362	1.0550	1068.8	478.07	2044.5	2522.6	478.24	2219.2	2697.5	1.4624	5.7318	7.1942

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

1. ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทในเครื่องอุ่นสารป้อน

จากคุณสมบัติ

อุณหภูมิของสารป้อน (M-FEED)	8	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลของสารป้อน	250	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
อุณหภูมิของน้ำนมที่ออกมา (PRE-HEAT)	60.84	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัว (STEAM 1)	110	องศาเซลเซียส
ความจุความร้อนของน้ำนม	3.90	กิโลจูลต่อกิโลกรัม·องศาเคลวิน
ความจุความร้อนของไอน้ำที่ 110 องศาเซลเซียส	1.89	กิโลจูลต่อกิโลกรัม·องศาเคลวิน
ความจุความร้อนของน้ำที่ 110 องศาเซลเซียส	4.25	กิโลจูลต่อกิโลกรัม·องศาเคลวิน
เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่ 110 องศาเซลเซียส	2,691.3	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
เอนทัลปีของน้ำอิ่มตัวที่ 110 องศาเซลเซียส	461.3	กิโลจูลต่อกิโลกรัม

สมมติให้ความร้อนที่ถ่ายเทในเครื่องอุ่นสารป้อนเป็นความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารป้อนโดยไม่มีการเปลี่ยนวัฏภาค

จากสายของสารป้อน (น้ำนม)

$$q = mc_p\Delta T = mc_p(T_{out} - T_{in}) \quad \text{(ค.1)}$$

$$= (250)(3.90)(60.84\text{-}8)$$

$$= 51{,}519 \text{ กิโลจูลต่อชั่วโมง}$$

สามารถหาอัตราการไหลของไอน้ำอิ่มตัวได้จาก

$$q = S(H_S - h_S) = S\lambda \quad \text{(ค.2)}$$

$$51{,}519 = S(2{,}691.3\text{-}461.3)$$

$$S = 23.103 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือสามารถคำนวณได้จาก

ความร้อนที่ถ่ายเท = ความร้อนของสารที่ออก – ความร้อนของสารที่เข้า

กำหนดให้ อุณหภูมิอ้างอิงของของเหลว = 4,000 องศาเคลวิน

อุณหภูมิอ้างอิงของไอ = 7,400 องศาเคลวิน

จากสายของสารป้อน

$$q_{M\text{-}FEED} = mc_P\Delta T_{in} = mc_P(T_{in} - T_{ref}) \quad (ค.3)$$

$$= (250)(3.90)[(8+273)-4,020]$$

$$= -3.646\times10^{6} \text{ กิโลจูลต่อชั่วโมง}$$

$$q_{PRE\text{-}HEAT} = mc_P\Delta T_{out} = mc_P(T_{out} - T_{ref}) \quad (ค.4)$$

$$= (250)(3.90)[(60.84+273)-4,020]$$

$$= -3.594\times10^{6} \text{ กิโลจูลต่อชั่วโมง}$$

$$q_{PREHEATER} = q_{PRE\text{-}HEAT} - q_{M\text{-}FEED} \quad (ค.5)$$

$$= (-3.594\times10^{6})-(-3.646\times10^{6})$$

$$= 51,500 \text{ กิโลจูลต่อชั่วโมง}$$

สายของไอน้ำอิ่มตัวก็ทำในทำนองเดียวกัน จะได้

$$q_{STEAM1} = (23)(1.89)[(110+273)-7,400]$$

$$= -3.050\times10^{5} \text{ กิโลจูลต่อชั่วโมง}$$

$$q_{STEAM2} = (23)(4.25)[(110+273)-4,020]$$

$$= -3.555\times10^{5} \text{ กิโลจูลต่อชั่วโมง}$$

$$q_{PREHEATER} = q_{STEAM2} - q_{STEAM1} \quad (ค.6)$$

$$= (-3.555\times10^{5})-(-3.050\times10^{5})$$

$$= 50,490 \text{ กิโลจูลต่อชั่วโมง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัวอย่างการคำนวณในเครื่องระเหย

จากคุณสมบัติ

อุณหภูมิของสารป้อน (PRE-HEAT)	60.84	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลของสารป้อน	250	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
สัดส่วนโดยมวลของของแข็งในสารป้อน	0.13	
อุณหภูมิของน้ำนมที่ออกมา (LIQ1)	69.70	องศาเซลเซียส
สัดส่วนโดยมวลของของแข็งในน้ำนมที่ออกมา	0.287	
อุณหภูมิของไอที่ออกมา (VAP1)	69.70	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัว (STEAM1)	110	องศาเซลเซียส
เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่ 69.70 องศาเซลเซียส	2,626.9	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
เอนทัลปีของน้ำอิ่มตัวที่ 69.70 องศาเซลเซียส	293.0	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่ 49.66 องศาเซลเซียส	2,592.2	กิโลจูลต่อกิโลกรัม

จากสมดุลมวลของของแข็งทั้งหมด

$$F = L_2 + (V_1 + V_2) \quad \text{(ค.7)}$$

$$Fx_F = L_2x_2 + (V_1 + V_2)y_V \quad \text{(ค.8)}$$

$$(250)(0.13) = L_2(0.287)+(V_1+V_2)(0)$$

$$L_2 = 113.122 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

จากสมดุลพลังงานทั้งหมด

$$Fh_F + S\lambda_{S1} = L_1h_1 + V_1H_1 \quad \text{(ค.9)}$$

$$Fc_P(T_F - T_{ref}) + S(H_S - h_S) = L_1c_P(T_F - T_{ref}) + (250 - L_1)H_1 \quad \text{(ค.10)}$$

$$(250)(3.90)(60.84\text{-}0)+S(2{,}691.3\text{-}461.3) = L_1(3.90)(69.70\text{-}0)+(250\text{-}L_1)(2{,}626.9)$$

$$L_1h_1 + V_1\lambda_{S2} = L_2h_2 + V_2H_2 \quad \text{(ค.11)}$$

$$L_1(3.90)(69.70\text{-}0)+(250\text{-}L_1)(2{,}626.9\text{-}293.0) = (113.122)(3.90)(49.66\text{-}0)+(L_1\text{-}113.122)(2{,}592.2)$$

$$271.83L_1+583{,}475\text{-}2{,}333.9L_1 = 21{,}908.79+2{,}592.2L_1\text{-}293{,}234.85$$

$$854{,}801.06 = 4{,}654.27L_1$$

$$L_1 = 183.66 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทน L_1 ใน (ค.10) จะได้

$59,319-2,230S = (183.66)(3.90)(69.70-0)+(250-183.66)(2,626.9)$

$S = 73.935$ กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จาก $F = V_1 + L_1$ (ค.12)

$V_1 = 250 - 183.66$

$= 66.34$ กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จาก $L_1 = V_2 + L_2$ (ค.13)

$V_2 = 183.66 - 113.122$

$= 70.538$ กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ความร้อนที่ถ่ายเทในเครื่องระเหยชุดที่ 1

$q_{EVAP1} = S\lambda_1$ (ค.14)

$= (73.935)(2,691.3-461.3)$

$= 1.649\times10^5$ กิโลจูลต่อชั่วโมง

$q_{EVAP2} = V_1\lambda_2$ (ค.15)

$= (66.34)(2,626.9-293.0)$

$= 1.548\times10^5$ กิโลจูลต่อชั่วโมง

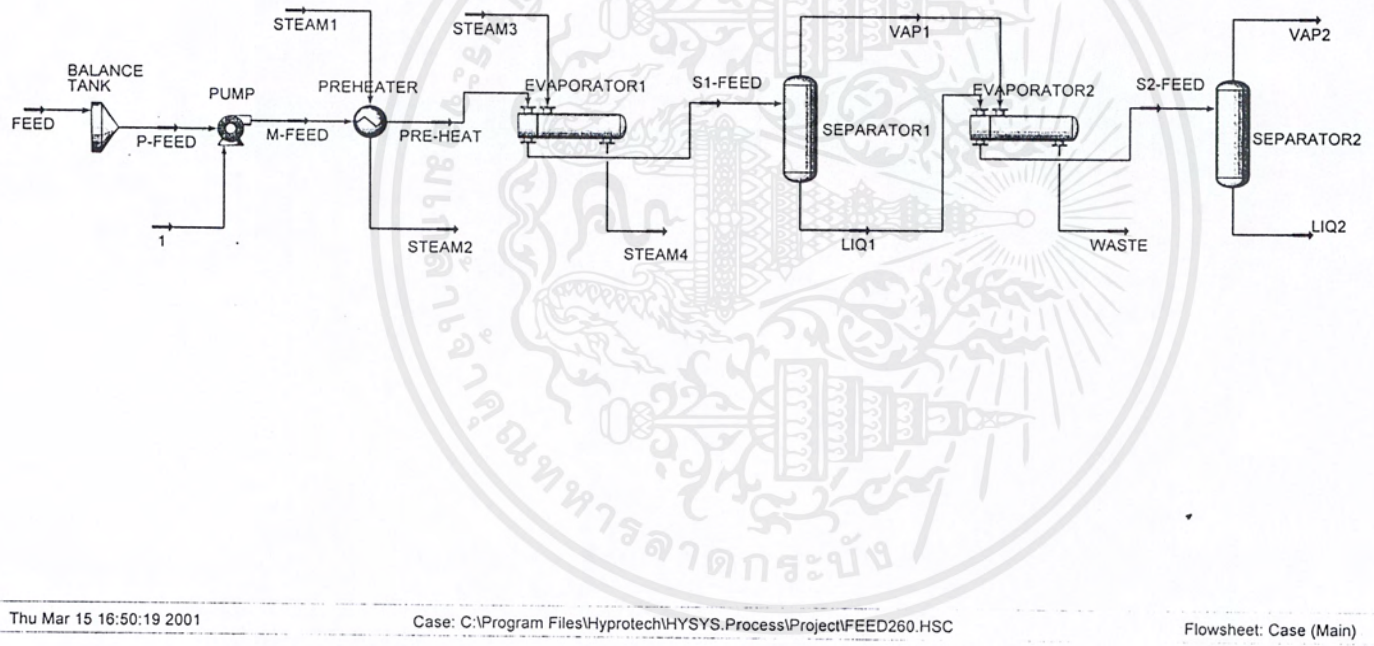
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการจำลองกระบวนการ

1. ข้อมูลขององค์ประกอบต่างๆในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบในการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 แผนภาพกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบโดยใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น

ตารางที่ ง.1 ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับหน่วยของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบโดยใช้เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น

HYPROTECH	King Mongkut's Institute of Technology	Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\FEED260.HSC
		Unit Set: JBL
		Date/Time: Thu Mar 15 16:58:43 2001

Workbook: Case (Main)

Unit Ops

Operation Name	Operation Type	Feeds	Products	Ignored	Calc. Level
PREHEATER	Heat Exchanger	M-FEED STEAM1	PRE-HEAT STEAM2	No	500.0 *
EVAPORATOR1	Heat Exchanger	PRE-HEAT STEAM3	S1-FEED STEAM4	No	500.0 *
EVAPORATOR2	Heat Exchanger	LIQ1 VAP1	S2-FEED WASTE	No	500.0 *
SEPARATOR1	Separator	S1-FEED	LIQ1 VAP1	No	500.0 *
SEPARATOR2	Separator	S2-FEED	LIQ2 VAP2	No	500.0 *
PUMP	Pump	P-FEED 1	M-FEED	No	500.0 *
BALANCE TANK	Mixer	FEED	P-FEED	No	500.0 *

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user.

1.1 เมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำนมดิบ

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 230 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

King Mongkut's Institute of Technolo

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\FEED230.hsc
Unit Set: JBL
Date/Time: Thu Mar 15 17:16:19 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	11.24	11.24	11.24	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	230.0	230.0 *	230.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	223.6	223.6	223.6	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.302e+06	-3.302e+06	-3.302e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3475	0.0000
Temperature	(C)	65.42	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	11.24	4.163	4.163	11.24	7.333
Mass Flow	(kg/h)	230.0	75.00 *	75.00	230.0	159.6
Liquid Volume Flow	(L/h)	223.6	75.15	75.15	223.6	153.1
Heat Flow	(kJ/h)	-3.251e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.083e+06	-2.147e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.5620	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.906	3.906	7.333	3.212	4.121
Mass Flow	(kg/h)	70.37	70.37	159.6	85.38	74.25
Liquid Volume Flow	(L/h)	70.51	70.51	153.1	78.72	74.40
Heat Flow	(kJ/h)	-9.355e+05	-1.100e+06	-1.983e+06	-9.935e+05	-9.899e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0046
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0026
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0021
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9907
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0046	0.0000	0.0105	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0026	0.0000	0.0059	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0021	0.0000	0.0047	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9907	1.0000	0.9789	0.9940

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr
* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 240 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

King Mongkut's Institute of Technolo

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\FEED240.hsc

Unit Set: JBL

Date/Time: Thu Mar 15 17:18:56 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	11.73	11.73	11.73	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	240.0	240.0 *	240.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	233.4	233.4	233.4	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.446e+06	-3.446e+06	-3.446e+06	-3.041e+05	-3.556e+05

Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3282	0.0000
Temperature	(C)	63.04	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	11.73	4.163	4.163	11.73	7.879
Mass Flow	(kg/h)	240.0	75.00 *	75.00	240.0	170.7
Liquid Volume Flow	(L/h)	233.4	75.15	75.15	233.4	163.9
Heat Flow	(kJ/h)	-3.395e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.227e+06	-2.305e+06

Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.5185	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.849	3.849	7.879	3.794	4.085
Mass Flow	(kg/h)	69.34	69.34	170.7	97.06	73.60
Liquid Volume Flow	(L/h)	69.48	69.48	163.9	90.12	73.75
Heat Flow	(kJ/h)	-9.218e+05	-1.084e+06	-2.143e+06	-1.162e+06	-9.813e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *

Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0044
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0025
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0020
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9910

Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0044	0.0000	0.0092	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0025	0.0000	0.0052	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0020	0.0000	0.0041	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9910	1.0000	0.9813	0.9940

Hyprotech Ltd. HYSYS.ProcessNetVers v2.1.1 (Build 3198) Page 1 of 1

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\FEED260.HSC
Unit Set: JBL
Date/Time: Thu Mar 15 17:07:55 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05

Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3103	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	4.163	4.163	12.22	8.425
Mass Flow	(kg/h)	250.0	75.00 *	75.00	250.0	181.7
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	75.15	75.15	243.1	174.6
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.370e+06	-2.462e+06

Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.4807	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.791	3.791	8.425	4.376	4.050
Mass Flow	(kg/h)	68.31	68.31	181.7	108.7	72.96
Liquid Volume Flow	(L/h)	68.44	68.44	174.6	101.5	73.10
Heat Flow	(kJ/h)	-9.081e+05	-1.067e+06	-2.303e+06	-1.330e+06	-9.726e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *

Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0043
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0024
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0019
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9912

Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0043	0.0000	0.0083	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0024	0.0000	0.0047	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0019	0.0000	0.0037	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9912	1.0000	0.9831	0.9940

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr
* Specified by user

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.5 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 260 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

King Mongkut's Institute of Technolo

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\FEED260.HSC

Unit Set: JBL

Date/Time: Thu Mar 15 17:09:27 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.71	12.71	12.71	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	260.0	260.0 *	260.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	252.8	252.8	252.8	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.733e+06	-3.733e+06	-3.733e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.2939	0.0000
Temperature	(C)	58.82	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.71	4.163	4.163	12.71	8.971
Mass Flow	(kg/h)	260.0	75.00 *	75.00	260.0	192.7
Liquid Volume Flow	(L/h)	252.8	75.15	75.15	252.8	185.4
Heat Flow	(kJ/h)	-3.682e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.514e+06	-2.619e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.4474	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.734	3.734	8.971	4.957	4.014
Mass Flow	(kg/h)	67.27	67.27	192.7	120.4	72.31
Liquid Volume Flow	(L/h)	67.41	67.41	185.4	112.9	72.45
Heat Flow	(kJ/h)	-8.944e+05	-1.051e+06	-2.463e+06	-1.499e+06	-9.640e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0042
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0024
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0019
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9914
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0042	0.0000	0.0077	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0024	0.0000	0.0043	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0019	0.0000	0.0034	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9914	1.0000	0.9845	0.9940

Hyprotech Ltd. HYSYS.ProcessNetVers v2.1.1 (Build 3198) Page 1 of 1

Licensed to King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.6 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของน้ำนมดิบเท่ากับ 270 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\FEED270.hsc

Unit Set: JBL

Date/Time: Thu Mar 15 17:12:22 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	13.19	13.19	13.19	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	270.0	270.0 *	270.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	262.5	262.5	262.5	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.877e+06	-3.877e+06	-3.877e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.2787	0.0000
Temperature	(C)	56.95	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	13.19	4.163	4.163	13.19	9.517
Mass Flow	(kg/h)	270.0	75.00 *	75.00	270.0	203.8
Liquid Volume Flow	(L/h)	262.5	75.15	75.15	262.5	196.1
Heat Flow	(kJ/h)	-3.825e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.657e+06	-2.777e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.4180	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.677	3.677	9.517	5.539	3.978
Mass Flow	(kg/h)	66.24	66.24	203.8	132.1	71.66
Liquid Volume Flow	(L/h)	66.38	66.38	196.1	124.3	71.81
Heat Flow	(kJ/h)	-8.807e+05	-1.035e+06	-2.622e+06	-1.667e+06	-9.554e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0041
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0023
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0019
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9916
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0041	0.0000	0.0071	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0023	0.0000	0.0040	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0019	0.0000	0.0032	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9916	1.0000	0.9856	0.9940

Hyprotech Ltd. HYSYS.ProcessNetVers v2.1.1 (Build 3198) Page 1 of 1

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 เมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3

ตารางที่ ง.7 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 เท่ากับ 65 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\HEAT65.hsc

Unit Set: JBL

Date/Time: Thu Mar 15 17:28:00 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.2667	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	3.608	3.608	12.22	8.958
Mass Flow	(kg/h)	250.0	65.00 *	65.00	250.0	191.3
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	65.13	65.13	243.1	184.3
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-8.595e+05	-1.005e+06	-3.393e+06	-2.612e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.3957	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.258	3.258	8.958	5.413	3.545
Mass Flow	(kg/h)	58.70	58.70	191.3	127.4	63.86
Liquid Volume Flow	(L/h)	58.82	58.82	184.3	120.3	63.99
Heat Flow	(kJ/h)	-7.804e+05	-9.173e+05	-2.475e+06	-1.624e+06	-8.514e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0041
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0023
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0018
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9918
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0041	0.0000	0.0067	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0023	0.0000	0.0038	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0018	0.0000	0.0030	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9918	1.0000	0.9864	0.9940

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.8 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 เท่ากับ 70 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\HEAT70.hsc

Unit Set: JBL

Date/Time: Thu Mar 15 17:30:32 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.2885	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	3.886	3.886	12.22	8.692
Mass Flow	(kg/h)	250.0	70.00 *	70.00	250.0	186.5
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	70.14	70.14	243.1	179.4
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-9.256e+05	-1.082e+06	-3.381e+06	-2.537e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.4369	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.525	3.525	8.692	4.894	3.797
Mass Flow	(kg/h)	63.51	63.51	186.5	118.1	68.41
Liquid Volume Flow	(L/h)	63.63	63.63	179.4	110.9	68.55
Heat Flow	(kJ/h)	-8.443e+05	-9.924e+05	-2.389e+06	-1.477e+06	-9.120e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0042
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0024
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0019
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9915
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0042	0.0000	0.0075	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0024	0.0000	0.0042	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0019	0.0000	0.0033	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9915	1.0000	0.9849	0.9940

Hyprotech Ltd. HYSYS.ProcessNetVers v2.1.1 (Build 3198) Page 1 of 1

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.9 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 เท่ากับ 75 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

King Mongkut's Institute of Technolo

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\HEAT75.hsc
Unit Set: JBL
Date/Time: Thu Mar 15 17:25:34 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3103	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	4.163	4.163	12.22	8.425
Mass Flow	(kg/h)	250.0	75.00 *	75.00	250.0	181.7
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	75.15	75.15	243.1	174.6
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.370e+06	-2.462e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.4807	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.791	3.791	8.425	4.376	4.050
Mass Flow	(kg/h)	68.31	68.31	181.7	108.7	72.96
Liquid Volume Flow	(L/h)	68.44	68.44	174.6	101.5	73.10
Heat Flow	(kJ/h)	-9.081e+05	-1.067e+06	-2.303e+06	-1.330e+06	-9.726e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0043
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0024
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0019
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9912
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0043	0.0000	0.0083	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0024	0.0000	0.0047	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0019	0.0000	0.0037	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9912	1.0000	0.9831	0.9940

Hyprotech Ltd. HYSYS.ProcessNetVers v2.1.1 (Build 3198) Page 1 of 1

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.10 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 เท่ากับ 80 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

King Mongkut's Institute of Technolo

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\HEAT80.hsc

Unit Set: JBL

Date/Time: Thu Mar 15 17:35:31 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3322	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	4.441	4.441	12.22	8.159
Mass Flow	(kg/h)	250.0	80.00 *	80.00	250.0	176.9
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	80.16	80.16	243.1	169.8
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-1.058e+06	-1.237e+06	-3.359e+06	-2.387e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.5273	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	4.058	4.058	8.159	3.857	4.302
Mass Flow	(kg/h)	73.11	73.11	176.9	99.39	77.50
Liquid Volume Flow	(L/h)	73.26	73.26	169.8	92.16	77.66
Heat Flow	(kJ/h)	-9.719e+05	-1.142e+06	-2.217e+06	-1.183e+06	-1.033e+06

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0045
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0025
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0020
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9910
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0045	0.0000	0.0095	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0025	0.0000	0.0053	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0020	0.0000	0.0042	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9910	1.0000	0.9809	0.9940

Hyprotech Ltd. HYSYS.ProcessNetVers v2.1.1 (Build 3198) Page 1 of 1

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.11 ข้อมูลที่ได้เมื่ออัตราการไหลของไอน้ำสายที่ 3 เท่ากับ 85 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\HEAT85.hsc
Unit Set: JBL
Date/Time: Thu Mar 15 17:37:32 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05

Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3540	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	4.718	4.718	12.22	7.892
Mass Flow	(kg/h)	250.0	85.00 *	85.00	250.0	172.1
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	85.17	85.17	243.1	165.0
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-1.124e+06	-1.314e+06	-3.348e+06	-2.312e+06

Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.5771	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	4.324	4.324	7.892	3.338	4.554
Mass Flow	(kg/h)	77.91	77.91	172.1	90.04	82.05
Liquid Volume Flow	(L/h)	78.07	78.07	165.0	82.79	82.22
Heat Flow	(kJ/h)	-1.036e+06	-1.217e+06	-2.130e+06	-1.036e+06	-1.094e+06

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *

Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0046
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0026
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0021
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9906

Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0046	0.0000	0.0109	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0026	0.0000	0.0062	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0021	0.0000	0.0049	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9906	1.0000	0.9779	0.9940

Hyprotech Ltd. HYSYS.ProcessNetVers v2.1.1 (Build 3198) Page 1 of 1

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 เมื่อเปลี่ยนความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1

ตารางที่ ง.12 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 เท่ากับ 38.55 กิโลปาสคาล

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\P.EVAP1.38.55.

Unit Set: JBL

Date/Time: Thu Mar 15 17:54:10 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3022	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	74.71	74.71
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	38.55 *	38.55
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	4.163	4.163	12.22	8.525
Mass Flow	(kg/h)	250.0	75.00 *	75.00	250.0	183.5
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	75.15	75.15	243.1	176.4
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.370e+06	-2.487e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.4754	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	74.71	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	38.55	31.15	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.692	3.692	8.525	4.472	4.053
Mass Flow	(kg/h)	66.51	66.51	183.5	110.5	73.02
Liquid Volume Flow	(L/h)	66.65	66.65	176.4	103.3	73.17
Heat Flow	(kJ/h)	-8.836e+05	-1.039e+06	-2.331e+06	-1.357e+06	-9.735e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0043
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0024
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0019
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9913
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0043	0.0000	0.0082	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0024	0.0000	0.0046	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0019	0.0000	0.0037	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9913	1.0000	0.9835	0.9940

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.13 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 เท่ากับ 31.16 กิโลปาสคาล

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\P.EVAP1.31.16.

Unit Set: JBL

Date/Time: Thu Mar 15 17:51:46 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05

Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3103	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	4.163	4.163	12.22	8.425
Mass Flow	(kg/h)	250.0	75.00 *	75.00	250.0	181.7
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	75.15	75.15	243.1	174.6
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.370e+06	-2.462e+06

Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.4807	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.791	3.791	8.425	4.376	4.050
Mass Flow	(kg/h)	68.31	68.31	181.7	108.7	72.96
Liquid Volume Flow	(L/h)	68.44	68.44	174.6	101.5	73.10
Heat Flow	(kJ/h)	-9.081e+05	-1.067e+06	-2.303e+06	-1.330e+06	-9.726e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *

Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0043
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0024
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0019
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9912

Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0043	0.0000	0.0083	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0024	0.0000	0.0047	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0019	0.0000	0.0037	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9912	1.0000	0.9831	0.9940

Hyprotech Ltd. HYSYS.ProcessNetVers v2.1.1 (Build 3198) Page 1 of 1

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.14 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 เท่ากับ 19.92 กิโลปาสคาล

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\P.EVAP1.19.92.
Unit Set: JBL
Date/Time: Thu Mar 15 17:57:01 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3264	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	59.67	59.67
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	19.92 *	19.92
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	4.163	4.163	12.22	8.229
Mass Flow	(kg/h)	250.0	75.00 *	75.00	250.0	178.2
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	75.15	75.15	243.1	171.1
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.370e+06	-2.414e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.4996	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	59.67	59.67 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	19.92	19.92	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.987	3.987	8.229	4.118	4.111
Mass Flow	(kg/h)	71.84	71.84	178.2	104.1	74.06
Liquid Volume Flow	(L/h)	71.98	71.98	171.1	96.88	74.21
Heat Flow	(kJ/h)	-9.564e+05	-1.125e+06	-2.245e+06	-1.257e+06	-9.874e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0044
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0025
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0020
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9910
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0044	0.0000	0.0089	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0025	0.0000	0.0050	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0020	0.0000	0.0040	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9910	1.0000	0.9821	0.9940

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr
* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.15 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 1 เท่ากับ 12.34 กิโลปาสคาล

King Mongkut's Institute of Technolo

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\P.EVAP1,12.34.

Unit Set: JBL

Date/Time: Thu Mar 15 17:58:47 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3421	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	12.34 *	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	4.163	4.163	12.22	8.037
Mass Flow	(kg/h)	250.0	75.00 *	75.00	250.0	174.7
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	75.15	75.15	243.1	167.6
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.370e+06	-2.366e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.5199	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	49.66	49.66 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	12.34	12.34	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	4.179	4.179	8.037	3.858	4.179
Mass Flow	(kg/h)	75.29	75.29	174.7	99.43	75.29
Liquid Volume Flow	(L/h)	75.44	75.44	167.6	92.20	75.44
Heat Flow	(kJ/h)	-1.004e+06	-1.183e+06	-2.188e+06	-1.184e+06	-1.004e+06

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0045
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0026
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0020
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9908
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0045	0.0000	0.0095	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0026	0.0000	0.0053	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0020	0.0000	0.0042	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9908	1.0000	0.9809	0.9940

* Specified by user.

Licensed to King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 เมื่อเปลี่ยนความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2

ตารางที่ ง.16 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 เท่ากับ 31.16 กิโลปาสคาล

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\P.EVAP2.31.16.

Unit Set: JBL

Date/Time: Thu Mar 15 18:11:30 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3103	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	4.163	4.163	12.22	8.425
Mass Flow	(kg/h)	250.0	75.00 *	75.00	250.0	181.7
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	75.15	75.15	243.1	174.6
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.370e+06	-2.462e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.4500	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	69.70	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	31.16 *	31.16	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	3.791	3.791	8.425	4.634	3.791
Mass Flow	(kg/h)	68.31	68.31	181.7	113.4	68.31
Liquid Volume Flow	(L/h)	68.44	68.44	174.6	106.2	68.44
Heat Flow	(kJ/h)	-9.081e+05	-1.067e+06	-2.303e+06	-1.395e+06	-9.081e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0043
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0024
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0019
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9912
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0043	0.0000	0.0079	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0024	0.0000	0.0044	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0019	0.0000	0.0035	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9912	1.0000	0.9841	0.9940

Hyprotech Ltd. HYSYS.ProcessNetVers v2.1.1 (Build 3198) Page 1 of 1

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.17 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 เท่ากับ 19.92 กิโลปาสคาล

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\P.EVAP2.19.92.

Unit Set: JBL

Date/Time: Thu Mar 15 18:07:20 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3103	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	4.163	4.163	12.22	8.425
Mass Flow	(kg/h)	250.0	75.00 *	75.00	250.0	181.7
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	75.15	75.15	243.1	174.6
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.370e+06	-2.462e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.4655	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	59.67	59.67	59.67
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	19.92 *	19.92	19.92
Molar Flow	(kgmole/h)	3.791	3.791	8.425	4.503	3.922
Mass Flow	(kg/h)	68.31	68.31	181.7	111.0	70.66
Liquid Volume Flow	(L/h)	68.44	68.44	174.6	103.8	70.80
Heat Flow	(kJ/h)	-9.081e+05	-1.067e+06	-2.303e+06	-1.362e+06	-9.407e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0043
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0024
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0019
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9912
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0043	0.0000	0.0081	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0024	0.0000	0.0046	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0019	0.0000	0.0036	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9912	1.0000	0.9836	0.9940

Hyprotech Ltd. HYSYS.ProcessNetVers v2.1.1 (Build 3198) Page 1 of 1

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.18 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 เท่ากับ 12.34 กิโลปาสคาล

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\P.EVAP2.12.34.
Unit Set: JBL
Date/Time: Thu Mar 15 18:06:04 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3103	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	4.163	4.163	12.22	8.425
Mass Flow	(kg/h)	250.0	75.00 *	75.00	250.0	181.7
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	75.15	75.15	243.1	174.6
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.370e+06	-2.462e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.4807	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	49.66	49.66	49.66
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	12.34 *	12.34	12.34
Molar Flow	(kgmole/h)	3.791	3.791	8.425	4.376	4.050
Mass Flow	(kg/h)	68.31	68.31	181.7	108.7	72.96
Liquid Volume Flow	(L/h)	68.44	68.44	174.6	101.5	73.10
Heat Flow	(kJ/h)	-9.081e+05	-1.067e+06	-2.303e+06	-1.330e+06	-9.726e+05

Compositions

Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0043
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0024
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0019
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9912
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0043	0.0000	0.0083	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0024	0.0000	0.0047	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0019	0.0000	0.0037	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9912	1.0000	0.9831	0.9940

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr
* Specified by user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.19 ข้อมูลที่ได้เมื่อความดันไอภายในเครื่องระเหยขั้นที่ 2 เท่ากับ 8.00 กิโลปาสคาล

King Mongkut's Institute of Technolog

Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\P.EVAP2.8.00.h

Unit Set: JBL

Date/Time: Thu Mar 15 18:08:56 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		FEED	P-FEED	M-FEED	STEAM1	STEAM2
Vapour Fraction		0.0000 *	0.0000	0.0000	1.0000 *	0.0000 *
Temperature	(C)	8.000 *	8.000	8.004	110.0 *	110.0
Pressure	(kPa)	100.0 *	100.0	150.0 *	144.2	144.2
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	12.22	12.22	1.277	1.277
Mass Flow	(kg/h)	250.0	250.0 *	250.0	23.00 *	23.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	243.1	243.1	23.05	23.05
Heat Flow	(kJ/h)	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.590e+06	-3.041e+05	-3.556e+05
Name		PRE-HEAT	STEAM3	STEAM4	S1-FEED	LIQ1
Vapour Fraction		0.0000	1.0000 *	0.0000 *	0.3103	0.0000
Temperature	(C)	60.84	110.0 *	110.0	69.70	69.70
Pressure	(kPa)	150.0	144.2	144.2	31.16 *	31.16
Molar Flow	(kgmole/h)	12.22	4.163	4.163	12.22	8.425
Mass Flow	(kg/h)	250.0	75.00 *	75.00	250.0	181.7
Liquid Volume Flow	(L/h)	243.1	75.15	75.15	243.1	174.6
Heat Flow	(kJ/h)	-3.538e+06	-9.917e+05	-1.160e+06	-3.370e+06	-2.462e+06
Name		VAP1	WASTE	S2-FEED	LIQ2	VAP2
Vapour Fraction		1.0000	0.0000 *	0.4933	0.0000	1.0000
Temperature	(C)	69.70	69.70 *	41.16	41.16	41.16
Pressure	(kPa)	31.16	31.16	8.000 *	8.000	8.000
Molar Flow	(kgmole/h)	3.791	3.791	8.425	4.269	4.156
Mass Flow	(kg/h)	68.31	68.31	181.7	106.8	74.87
Liquid Volume Flow	(L/h)	68.44	68.44	174.6	99.61	75.02
Heat Flow	(kJ/h)	-9.081e+05	-1.067e+06	-2.303e+06	-1.303e+06	-9.993e+05

Compositions

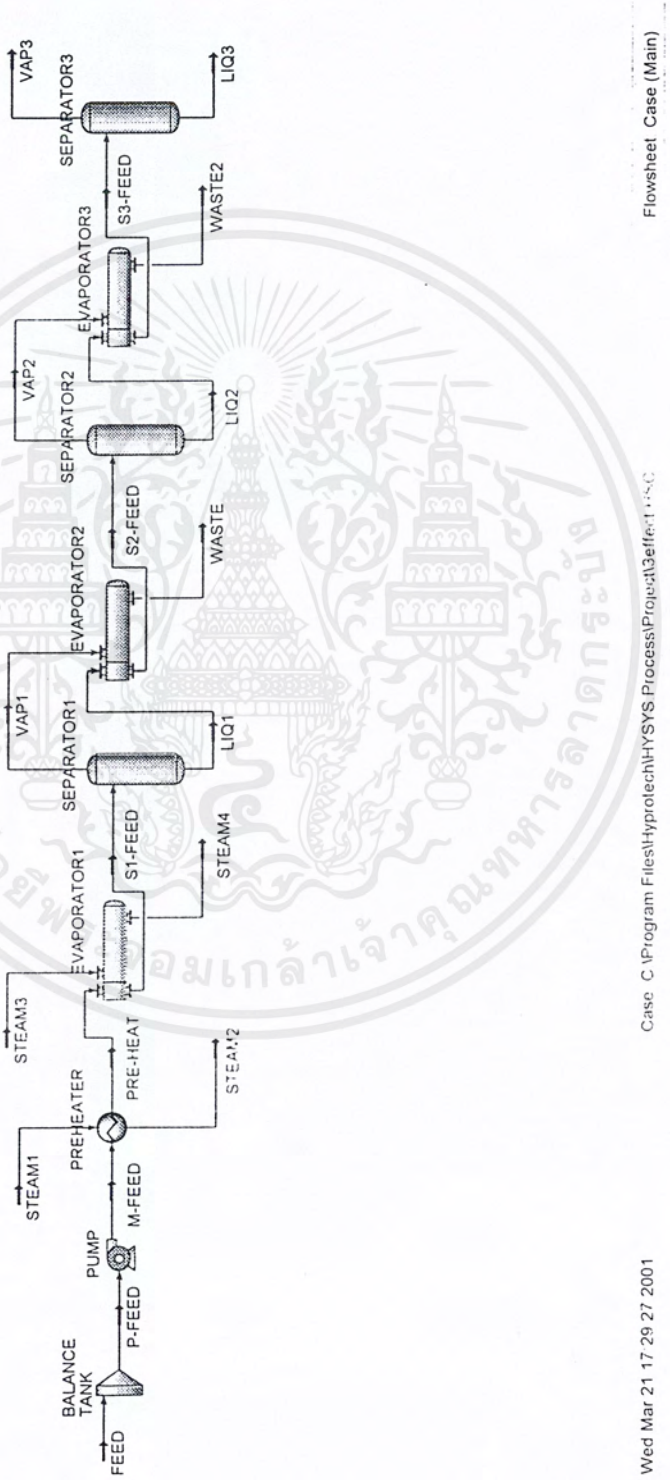
Name	FEED	P-FEED	PRE-HEAT	S1-FEED	STEAM1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0030 *	0.0030	0.0030	0.0030	0.0000 *
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0017 *	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000 *
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0013 *	0.0013	0.0013	0.0013	0.0000 *
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000 *
Comp Mole Frac (H2O)	0.9940 *	0.9940	0.9940	0.9940	1.0000 *
Name	STEAM2	STEAM3	STEAM4	VAP1	LIQ1
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0043
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0024
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0019
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0001
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000 *	1.0000	1.0000	0.9912
Name	WASTE	S2-FEED	VAP2	LIQ2	M-FEED
Comp Mole Frac (Lactose*)	0.0000	0.0043	0.0000	0.0086	0.0030
Comp Mole Frac (OleicAcid*)	0.0000	0.0024	0.0000	0.0048	0.0017
Comp Mole Frac (1C16oicAcid*)	0.0000	0.0019	0.0000	0.0038	0.0013
Comp Mole Frac (Casien*)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	0.9912	1.0000	0.9827	0.9940

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ข้อมูลขององค์ประกอบต่างๆในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบในการปรับปรุงกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบ



รูปที่ ง.2 แผนภาพกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบโดยใช้เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.20 ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับหน่วยของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมดิบโดยใช้เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น

HYPROTECH	King Mongkut's Institute of Technology	Case Name: C:\Program Files\Hyprotech\HYSYS.Process\Project\3effect.HSC
		Unit Set: JBL
		Date/Time: Wed Mar 21 17:31:28 2001

Workbook: Case (Main)

Unit Ops

Operation Name	Operation Type	Feeds	Products	Ignored	Calc. Level
PREHEATER	Heat Exchanger	M-FEED STEAM1	PRE-HEAT STEAM2	No	500.0 *
EVAPORATOR1	Heat Exchanger	PRE-HEAT STEAM3	S1-FEED STEAM4	No	500.0 *
EVAPORATOR2	Heat Exchanger	LIQ1 VAP1	S2-FEED WASTE	No	500.0 *
EVAPORATOR3	Heat Exchanger	LIQ2 VAP2	S3-FEED WASTE2	No	500.0 *
SEPARATOR1	Separator	S1-FEED	LIQ1 VAP1	No	500.0 *
SEPARATOR2	Separator	S2-FEED	LIQ2 VAP2	No	500.0 *
SEPARATOR3	Separator	S3-FEED	LIQ3 VAP3	No	500.0 *
PUMP	Pump	P-FEED 1	M-FEED	No	500.0 *
BALANCE TANK	Mixer	FEED	P-FEED	No	500.0 *

Licensed to: King Mongkut's Institute of Technology Ladkr

* Specified by user.

ตารางที่ ง.21 อัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลไอน้ำในกระบวนการระเหยให้ได้น้ำนมเข้มข้น 42 และ 52 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของของแข็ง

อัตราการไหลของน้ำนมดิบ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลของไอน้ำ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)			
	น้ำนมเข้มข้น 42 เปอร์เซ็นต์		น้ำนมเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์	
	เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น	เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น	เครื่องระเหยแบบ 2 ขั้น	เครื่องระเหยแบบ 3 ขั้น
160	74	53.0	79	56.5
170	79	56.5	84	60.0
180	83	60.0	89	63.5
190	88	63.5	94	67.0
200	93	67.0	99	71.0
210	97	70.0	104	74.5
220	102	73.5	109	78.0
230	107	77.0	114	81.5
240	111	80.0	119	85.0
250	116	83.5	124	88.5
260	121	86.5	128	92.0
270	125	90.0	133	95.5
280	130	94.0	138	99.5
290	135	97.0	143	103.0
300	139	100.5	148	106.5
320	148	106.5	158	113.5
340	157	113.5	168	121.2
360	167	120.0	178	128.1
380	176	126.5	188	135.6
400	185	133.5	198	142.7
420	195	140.0	208	149.0
450	209	150.0	223	160.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.22 รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (ความเข้มข้น 42 เปอร์เซ็นต์) เมื่อใช้เครื่อง-ระเหยแบบ 2 ขั้นที่อัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำต่างๆ

อัตราการไหลของน้ำนมดิบ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	รายได้จากผลิตภัณฑ์ (บาทต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลของไอน้ำ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาทต่อชั่วโมง)	รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาทต่อชั่วโมง)
160	3571.20	74.00	16.14	3555.06
170	3794.40	79.00	17.23	3777.17
180	4017.60	83.00	18.11	3999.49
190	4240.80	88.00	19.20	4221.60
200	4464.00	93.00	20.29	4443.71
210	4687.20	97.00	21.16	4666.04
220	4910.40	102.00	22.25	4888.15
230	5133.60	107.00	23.34	5110.26
240	5356.80	111.00	24.22	5332.58
250	5609.30	116.00	25.31	5583.99
260	5803.20	121.00	26.40	5776.80
270	6026.40	125.00	27.27	5999.13
280	6249.60	130.00	28.36	6221.24
290	6472.80	135.00	29.45	6443.35
300	6696.00	139.00	30.32	6665.68
320	7142.40	148.00	32.29	7110.11
340	7588.80	157.00	34.25	7554.55
360	8035.20	167.00	36.43	7998.77
380	8481.60	176.00	38.40	8443.20
400	8928.00	185.00	40.36	8887.64
420	9374.40	195.00	42.54	9331.86
450	10044.00	209.00	45.60	9998.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.23 รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (ความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์) เมื่อใช้เครื่อง-ระเหยแบบ 2 ขั้นที่อัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำต่างๆ

อัตราการไหลของน้ำนมดิบ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	รายได้จากผลิตภัณฑ์ (บาทต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลของไอน้ำ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาทต่อชั่วโมง)	รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาทต่อชั่วโมง)
160	13470.00	79	17.12	13452.88
170	14280.00	84.00	18.20	14261.80
180	15120.00	89.00	19.28	15100.72
190	15960.00	94.00	20.37	15939.63
200	16800.00	99.00	21.45	16778.55
210	17640.00	104.00	22.53	17617.47
220	18480.00	109.00	23.61	18456.39
230	19320.00	114.00	24.70	19295.30
240	20160.00	119.00	25.78	20134.22
250	21000.00	124.00	26.86	20973.14
260	21840.00	128.00	27.73	21812.27
270	22680.00	133.00	28.81	22651.19
280	23520.00	138.00	29.90	23490.10
290	24360.00	143.00	30.98	24329.02
300	25200.00	148.00	32.06	25167.94
320	26800.00	158.00	34.23	26765.77
340	28560.00	168.00	36.40	28523.60
360	30240.00	178.00	38.56	30201.44
380	31920.00	188.00	40.73	31879.27
400	33600.00	198.00	42.90	33557.10
420	35280.00	208.00	45.06	35234.94
450	37800.00	223.00	48.31	37751.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.24 รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (ความเข้มข้น 42 เปอร์เซ็นต์) เมื่อใช้เครื่อง-ระเหยแบบ 3 ขั้นที่อัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำต่างๆ

อัตราการไหลของน้ำนมดิบ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	รายได้จากผลิตภัณฑ์ (บาทต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลของไอน้ำ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาทต่อชั่วโมง)	รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาทต่อชั่วโมง)
160	3571.20	53.00	11.56	3559.64
170	3794.40	56.50	12.33	3782.07
180	4017.60	60.00	13.03	4004.57
190	4240.80	63.50	13.85	4226.95
200	4464.00	67.00	14.62	4449.38
210	4687.20	70.00	15.27	4671.93
220	4910.40	73.50	16.03	4894.37
230	5133.60	77.00	16.80	5116.80
240	5356.80	80.00	17.45	5339.35
250	5609.30	83.50	18.22	5591.08
260	5803.20	86.50	18.87	5784.33
270	6026.40	90.00	19.63	6006.77
280	6249.60	94.00	20.51	6229.09
290	6472.80	97.00	21.16	6451.64
300	6696.00	100.50	21.93	6674.07
320	7142.40	106.50	23.23	7119.17
340	7588.80	113.50	24.76	7564.04
360	8035.20	120.00	26.18	8009.02
380	8481.60	126.50	27.60	8454.00
400	8928.00	133.50	29.12	8898.88
420	9374.40	140.00	30.54	9343.86
450	10044.00	150.00	32.72	10011.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.25 รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (ความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์) เมื่อใช้เครื่อง-ระเหยแบบ 3 ขั้นที่อัตราการไหลของน้ำนมดิบและอัตราการไหลของไอน้ำต่างๆ

อัตราการไหลของน้ำนมดิบ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	รายได้จากผลิตภัณฑ์ (บาทต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลของไอน้ำ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาทต่อชั่วโมง)	รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาทต่อชั่วโมง)
160	13470.00	56.50	12.63	13457.37
170	14280.00	60.00	13.41	14266.59
180	15120.00	63.50	14.19	15105.81
190	15960.00	67.00	14.98	15945.02
200	16800.00	71.00	15.87	16784.13
210	17640.00	74.50	16.65	17623.35
220	18480.00	78.00	17.43	18462.57
230	19320.00	81.50	18.22	19301.78
240	20160.00	85.00	19.00	20141.00
250	21000.00	88.50	19.78	20980.22
260	21840.00	92.00	20.56	21819.44
270	22680.00	95.50	21.35	22658.65
280	23520.00	99.50	22.24	23497.76
290	24360.00	103.00	23.02	24336.98
300	25200.00	106.50	23.80	25176.20
320	26800.00	113.50	25.37	26774.63
340	28560.00	121.20	27.09	28532.91
360	30240.00	128.10	28.63	30211.37
380	31920.00	135.60	30.31	31889.69
400	33600.00	142.70	31.90	33568.10
420	35280.00	149.00	33.30	35246.70
450	37800.00	160.00	35.76	37764.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้