สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ในอุตสาหกรรมอาหาร

COMPUTER PROGRAM FOR THE DESIGN OF PLATE HEAT EXCHANGER FOR FOOD INDUSTRIES

T042324

โดย

นางสาวนาขวัญ สายเสน

นาย บงกชธรรม พบหิรัญโสภณ

นางสาววารีรัตน์ ทรงคำ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42324
วัน, เดือน, ปี 17 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ในอุตสาหกรรมอาหาร

ผู้จัดทำ

นางสาวนาขวัญ สายเสน

นาย บงกชธรรม พบหิรัญโสภณ

นางสาววารีรัตน์ ทรงคำ

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

---อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ในอุตสาหกรรมอาหาร

นางสาวนาขวัญ สายเสน
นายบงกชธรรม พบหิรัญโสภณ
นางสาววารีรัตน์ ทรงคำ

ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นในอุตสาหกรรมอาหารได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อให้โปรแกรมใช้งานง่าย โปรแกรมแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ ส่วนแรกโปรแกรมจะคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์และสเตอริไลส์ เมื่อกำหนดชนิดของของเหลวสองชนิด อัตราการไหล อุณหภูมิเข้าและอุณหภูมิออกให้รวมถึงคำนวณและแสดงค่าคุณสมบัติของของเหลวเช่นความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด ค่าการนำความร้อนที่ใช้ในกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนอีกด้วย ส่วนที่สองจะประมาณความยาวของท่อที่ต้องการที่จะคงอุณหภูมิของของเหลวไว้เพื่อทำลายแบคทีเรียในอาหารเหลวให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ปลอดภัยจากเชื้อ อาหารจะถูกแบ่งเป็นกลุ่มโดยค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าสเตอริไลส์ที่ต้องการสำหรับอาหารแต่ละกลุ่มโปรแกรมจะแนะนำ โปรแกรมนี้จะอำนวยความสะดวกต่อผู้ชำนาญหรือไม่ชำนาญในการออกแบบกระบวนการทางความร้อนของอาหารเหลวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการปลอดเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPUTER PROGRAM FOR THE DESIGN OF PLATE HEAT EXCHANGER FOR FOOD INDUSTRIES

Ms. Nakhawn Saiysen

Mr. Bongkochdham Pobhirunsopon

Ms. Vareerat Chongkum

Dr. Pimpen Pornchaloempong Advisor

2000

Abstract

The user friendly computer software program for the design of plate heat exchanger for food industries was developed. The software was divided into two main parts. The first part was a program for calculation number of plate heat exchanger in pasteurization or sterilization process when two type of fluids, flow rate, temperature in and temperature out of the fluids were given. In this part, the properties of the fluids used in the heat exchange process (density, specific heat, viscosity, thermal conductivity) were calculated and shown. The second part of the program was to estimate the length of holding tube required for bacterial destruction of fluid food to ensure product safety. Foods were grouped by their pH and the sterilization value required for each group was suggested the program.The program facilitates an expert or non-expert personnel in designing thermal process of liquid food especially in aseptic process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญรูปภาพ	ข
สารบัญตาราง	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 คำนำ	
1.2 วัตถุประสงค์	
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	2
2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	
2.2 การคำนวณหาจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน	
2.3 การคำนวณหาความยาวท่อช่วงคงอุณหภูมิไว้เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย	
2.4 ตัวอย่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	
บทที่ 3 โปรแกรมและหลักการคำนวณ	30
3.1 ผังการทำงานของโปรแกรม	
3.2 รายละเอียดของโปรแกรม	
บทที่ 4 บทวิจารณ์และสรุป	48
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	51
ภาคผนวก ข	54
ภาคผนวก ค	55
กิตติกรรมประกาศ	67
หนังสืออ้างอิง	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นในอุตสาหกรรมอาหาร	3
รูปที่ 2.2 แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร	4
รูปที่ 2.3 แสดงการทำความสะอาดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้มือ	6
รูปที่ 2.4 การถ่ายเทความร้อนของของเหลวผ่านชั้นของคราบตะกรัน และแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน	12
รูปที่ 2.5 การไหลของตัวกลางที่มีอุณหภูมิคงที่	15
รูปที่ 2.6 การไหลแบบตามกันในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	16
รูปที่ 2.7 การไหลแบบสวนทางกันในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	17
รูปที่ 2.8 แสดงขั้นตอนของขบวนการพาสเจอร์ไรซ์และการสเตอริไลส์	21
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาของการให้ความร้อน ในระดับพาสเจอร์ไรซ์	22
รูปที่ 2.10 Flash Pasteurization	25
รูปที่ 2.11 Continuous heating in a heat exchanger with linear temperture gradient	25
รูปที่ 2.12 หน้าจอแสดงผลการคำนวณโปรแกรมของบริษัท GEA AHLBORN	28
รูปที่ 2.13 หน้าจอแสดงผลการคำนวณโปรแกรมของบริษัท Alfa Laval	29
รูปที่ 3.1 หน้าจอต้อนรับเข้าสู่โปรแกรม	39
รูปที่ 3.2 หน้าจอหลักของโปรแกรม	40
รูปที่ 3.3 แสดงหน้าจอสำหรับคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	41
รูปที่ 3.4 แสดงหน้าจอคุณสมบัติต่าง ๆของของเหลว	42
รูปที่ 3.5 แสดงหน้าจอสำหรับคำนวณความยาวท่อช่วงคงอุณหภูมิ	45
รูป ข.1 แสดงชุดจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบการเลือกใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดต่าง ๆ	8
ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบการนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร	9
ตารางภาคผนวก ก.1 แสดงค่าส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์	50
ตารางภาคผนวก ก.2 แสดงสูตรคุณสมบัติต่าง ๆ ของอาหาร	51
ตารางภาคผนวก ก.3 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน	52
ตารางภาคผนวก ก.4 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน	52
ตารางภาคผนวก ก.5 แสดงค่าความต้านทานเฟาลิ่ง	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

คำนำ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของเหลวให้ถึงอุณหภูมิที่ต้องการโดยการแลกเปลี่ยนกับตัวกลางความร้อนหรือความเย็น เป็นเครื่องมือที่มีบทบาทสำคัญในการแปรรูปอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมอาหารเหลวที่มีความหนืดไม่มากนักเช่น นม น้ำผลไม้ เบียร์ ไวน์และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปซึ่งต้องการกำลังผลิตปริมาณมากและต่อเนื่อง วัตถุประสงค์หลักของการนำแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้ในอุตสาหกรรมประเภทนี้ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงจุดที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค เช่น ในขั้นตอนของกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์หรือสเตอริไรซ์และทำให้เย็นลง เนื่องจากแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถล้างประกอบง่ายจึงเหมาะกับอุตสาหกรรมอาหารซึ่งความสะอาดเป็นสิ่งสำคัญมาก ข้อดีอีกประการหนึ่งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นคือช่วยให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว จึงสามารถลดการสูญเสียคุณภาพทางอาหาร เช่น คุณค่าทางโภชนาการตลอดจนกลิ่นรสของอาหารที่ลดลงเนื่องจากถูกทำลายด้วยความร้อน นอกจากนี้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการอื่นๆได้ เช่น ใช้กับเครื่องระเหยเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น

เนื่องจากการคำนวณเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ในแต่ละครั้งนั้นมีความยุ่งยากในการเปิดค่าคุณสมบัติและตัวแปรต่างๆอีกทั้งขั้นตอนการคำนวณยังมีความซับซ้อนหลายขั้นตอนทำให้เสียเวลาในการคำนวณ โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะช่วยให้สะดวกในการคำนวณและได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น จากการสำรวจพบว่ามีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณแต่เป็นโปรแกรมที่ใช้กันในบริษัทเอกชนซึ่งนักศึกษาและบุคคลที่สนใจไม่สามารถหาซื้อโปรแกรมนั้นมาใช้ ดังนั้นการพัฒนาโปรแกรมคำนวณเกี่ยวกับการออกแบบครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นเป็นเรื่องที่น่าสนใจและเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการใช้โปรแกรมนี้

วัตถุประสงค์

1. รวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร
2. สร้างโปรแกรมสำหรับการออกแบบและคำนวณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับเรื่องเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

ส่วนประกอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นแสดงไว้ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่

- **แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (Plate)**

เป็นแผ่นโลหะบางขึ้นรูปเป็นลอน ลูกฟูก รอยหยัก (รูปที่ 2.2)ทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนของของเหลวสองชนิด โดยลักษณะดังกล่าวจะก่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนและทนความดันได้สูงอีกทั้งยังเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของการถ่ายเทความร้อนทำให้อนุภาคของของเหลวได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทำจากสเตนเลส ไททาเนียม มีรูปแบบและขนาดตั้งแต่เล็กถึงใหญ่โดยต่อกันเป็นชุด การกำหนดจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหล คุณสมบัติทางกายภาพของของไหล ความดันและอุณหภูมิเข้า-ออกที่ต้องการ

- **โครง (Frame)**

ประกอบด้วยโครงหน้า โครงอัด โครงระหว่างกลาง คานแขวนบน คานรับล่าง และขาตั้งหลัง ทำหน้าที่ยึดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนให้ติดกัน วัสดุที่ใช้ ได้แก่ โลหะไร้สนิมหรือโลหะเคลือบด้วยสีป้องกันสนิม

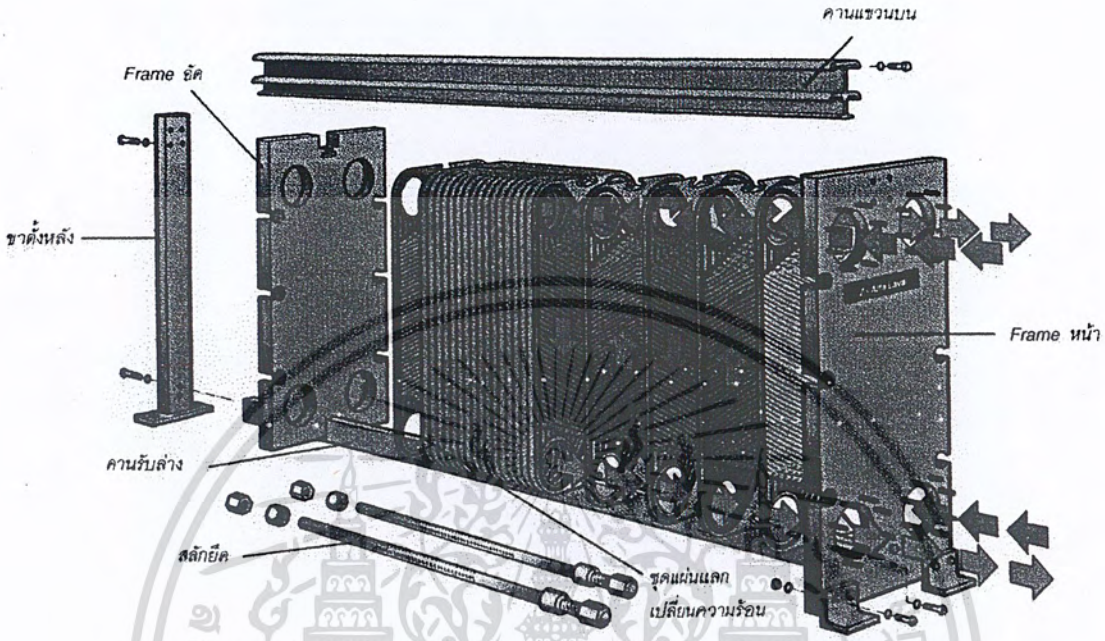
- **สลักยึด (Tightening Bolts)**

เพื่อยึดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนให้ติดกับโครง นิยมทำจากโลหะไร้สนิม

- **ปะเก็น (Gusket)**

ยึดอยู่รอบแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อป้องกันไม่ให้ของเหลวทั้งสองชนิดรั่วไหลและป้องกันของเหลวรั่วไหลสู่ภายนอก ทั้งยังทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของของเหลวได้ วัสดุที่ใช้ทำปะเก็นที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับการนำไปใช้เช่น Nitrile Std-Paracril ใช้กับน้ำและอาหารเหลวที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบ EPDM ใช้กับสารเคมีและไอน้ำ โดยที่ต้องไม่ใช้กับอาหารเหลวที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบและ FPM-Fluorelastomers ใช้กับน้ำมันพืชที่อุณหภูมิสูง

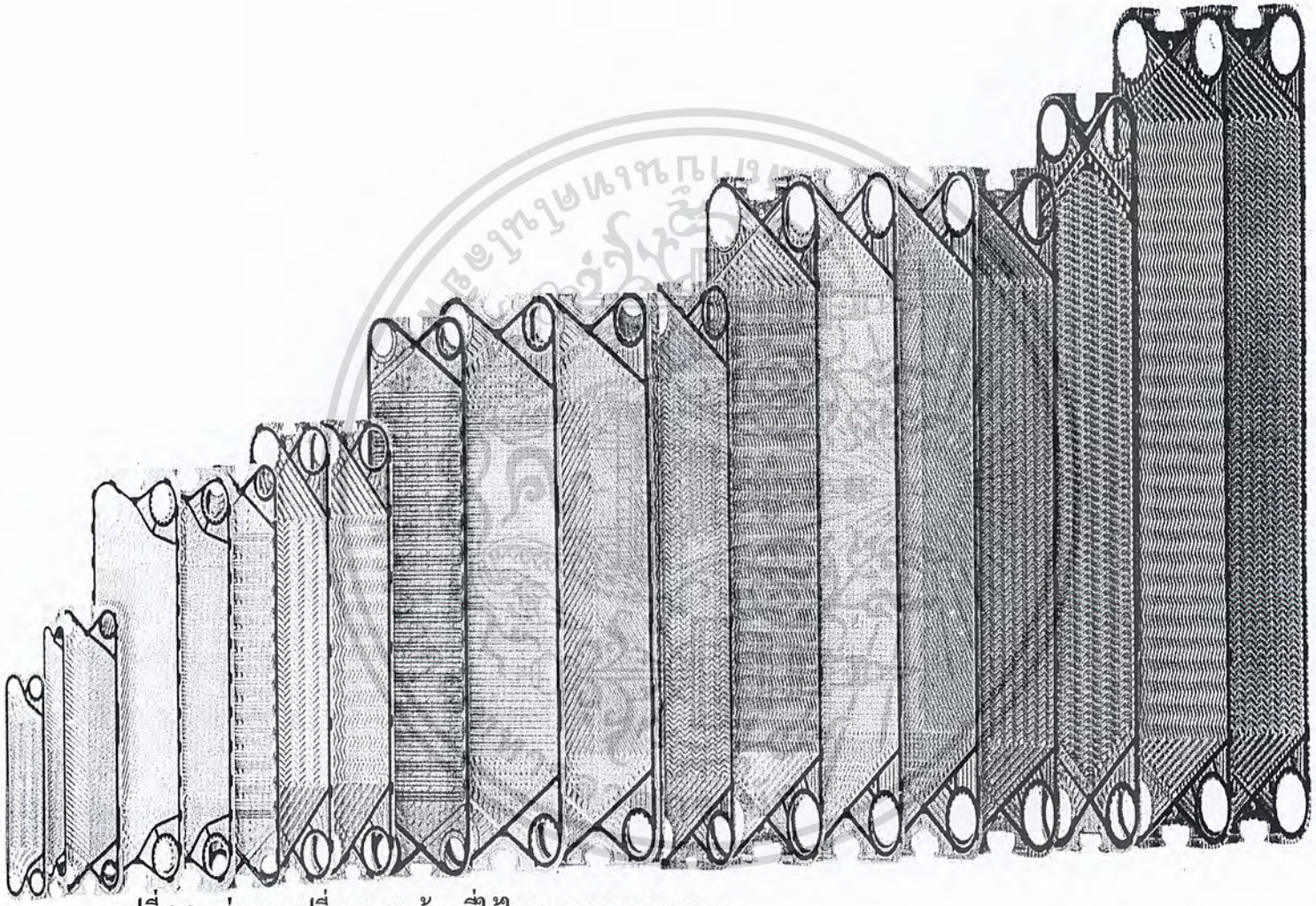
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นในอุตสาหกรรมอาหาร

ที่มา : เอกสารของบริษัท Alfa Laval เรื่องเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ที่มา : เอกสารของบริษัท APV เรื่อง The advantages of APV Plate Heat Exchanger in food and drink processing

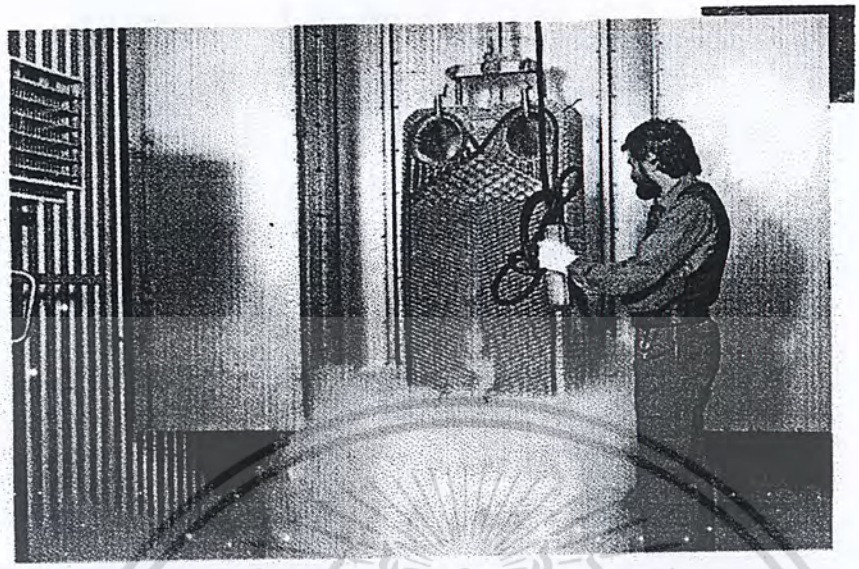
2.1.1 หลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

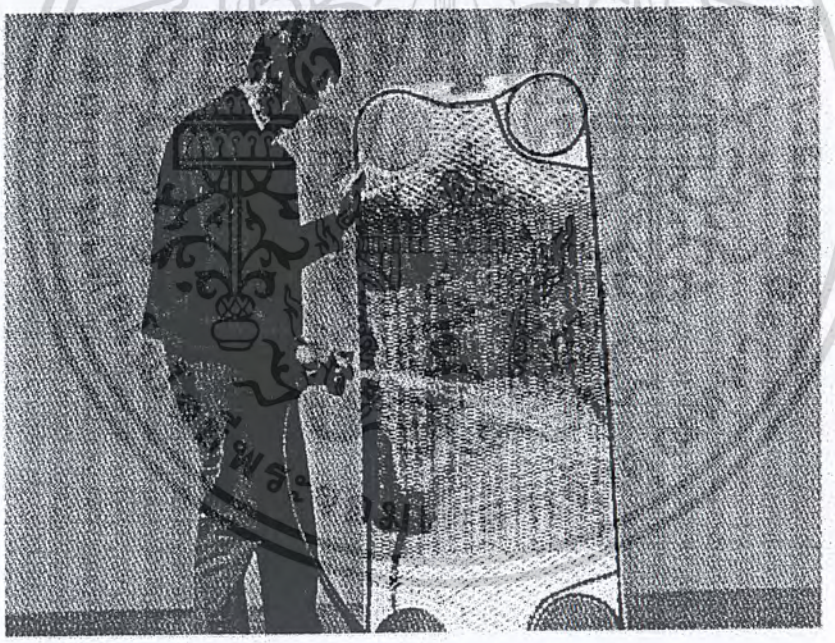
ของเหลวที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกปั๊มให้ไหลผ่านไปตามรูที่เจาะไว้บนมุมทั้งสี่ของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่รูทั้งสี่แบ่งออกเป็นสองชนิดคือสองรูแรกจะเป็นทางให้ของเหลวร้อนไหลผ่าน ส่วนอีกสองรูจะเป็นทางให้ของเหลวเย็นไหลผ่าน เมื่อของเหลวร้อนไหลผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดการส่งถ่ายความร้อนจากของเหลวร้อนไปยังแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งจะเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนไปให้ของเหลวเย็นอีกทอดหนึ่ง

2.1.2 การทำความสะอาดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อนำแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายความร้อนจากของเหลวชนิดหนึ่งไปยังของเหลวอีกชนิดหนึ่งและเมื่อเวลาผ่านไปของเหลวทั้งสองชนิดที่ไหลผ่านพื้นผิวหน้าของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนจะจับตัวกันเป็นคราบตะกรันซึ่งเมื่อเกิดแล้วมีผลทำให้เกิดความสิ้นเปลืองพลังงานของปั๊มในการจ่ายของเหลวมาแลกเปลี่ยนความร้อนกัน จึงควรที่จะทำความสะอาดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งอาจทำได้โดยการถอดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนออกมาล้างทีละแผ่น ดังรูปที่ 2.3 และอีกวิธีที่ใช้คือ ระบบ Cleaning-In-Place (CIP) เป็นการทำความสะอาดเครื่องมือได้โดยไม่ต้องถอดชิ้นส่วนต่างๆออกเลยหรืออาจจะล้างเพียงส่วนใดส่วนหนึ่งของเครื่องมือก็ได้ ซึ่งหลักการในการทำความสะอาดจะคล้ายกับวิธีการทำความสะอาดอื่นๆ สำหรับขั้นตอนการทำความสะอาดนี้ประกอบด้วย การล้างสิ่งสกปรกด้วยน้ำร้อนหรือน้ำเย็นก่อน เพื่อขจัดสิ่งสกปรกออกครั้งหนึ่งก่อนแล้วใช้ น้ำยาทำความสะอาดช่วยในการทำความสะอาดเพื่อขจัดสิ่งสกปรกที่เหลือจากครั้งแรกล้างด้วยน้ำอีกครั้ง หลังจากนั้นอาจใช้น้ำยาฆ่าเชื้อเพื่อช่วยฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนใช้น้ำธรรมดาล้างอีกครั้ง ซึ่งขั้นตอนที่กล่าวนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความเหมาะสมทั้งนี้แล้วแต่ชนิดของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.3 แสดงการทำความสะอาดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้มือ

ที่มา : เอกสารของบริษัท Alfa Laval เรื่องเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น
เอกสารของบริษัท APV เรื่อง The advantages of APV Plate Heat
Exchanger in food and drink processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบอื่น

อุตสาหกรรมอาหารมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลายชนิดแต่ละชนิดก็จะเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารต่างกัน เช่นหากพิจารณาคุณสมบัติด้านความหนืดของของเหลวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ(Tubular Heat Exchanger) เหมาะกับของเหลวที่มีความหนืดต่ำแต่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิว (Scraped Surface Heat Exchanger) เหมาะกับของเหลวที่มีความหนืดระดับกลางถึงสูง หากพิจารณาถึงขนาดของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอาหาร เช่น ซุปที่มีเศษชิ้นของผัก เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นเหมาะกับของเหลวที่มีขนาดอนุภาคในของเหลวน้อยกว่า 0.3 เซนติเมตร และจะยิ่งดีถ้าไม่มีอนุภาคอยู่ในของเหลวแต่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิวใช้ได้กับทั้งของเหลวที่มีอนุภาคหรือไม่มีอนุภาคก็ได้และถ้าคำนึงถึงในด้านการปรับปรุงเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นสามารถปรับปรุงได้ง่ายเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงการใช้งานโดยการเพิ่มหรือถอดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนออกแต่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิวไม่สามารถที่จะทำได้ โดยที่รายละเอียดในการเปรียบเทียบการเลือกใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดต่างๆและตัวอย่างของผลิตภัณฑ์อาหารที่เหมาะกับเครื่องแลกเปลี่ยนชนิดนั้นๆได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบการเลือกใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ

	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	**เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ**	**เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิว**
ความหนืดของของเหลว	ความหนืดต่ำ	ความหนืดต่ำ	ความหนืดระดับกลางถึงสูง
ขนาดของอนุภาคในของเหลว	ขนาดของอนุภาคควรน้อยกว่า 0.3 cm หรือไม่ควรมีอนุภาคในของเหลวเลย	มีอนุภาคในของเหลวได้	ขนาดของอนุภาคขึ้นกับช่องว่างของใบมีดกับแกนกลางของกระบอก
อุณหภูมิของของเหลว	ใช้ได้ดีกับของเหลวอุณหภูมิน้อยกว่า 150° C	ใช้ได้ดีกับของเหลวที่อุณหภูมิสูงถึง 285° C	ใช้ได้ดีกับของเหลวในช่วงอุณหภูมิระหว่างน้อยกว่า –35° C ถึง 190° C
การปรับปรุงเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงการใช้งาน	ง่ายต่อการเพิ่มหรือลดจำนวนแผ่น	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหาร	น้ำ นม ชา กาแฟ นม ถั่วเหลือง ครีม น้ำผลไม้ที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 0.3 cm หรือไม่มีอนุภาคเลย	ครีมรวม ชา กาแฟ ไอศกรีมผสม น้ำผลไม้ที่มีอนุภาคทุกขนาดหรือไม่มีอนุภาคเลย	อาหารเด็กอ่อน เนยถั่ว ไอศกรีม โยเกิร์ต เนื้อผลไม้เข้มข้น โปรตีนเวย์เข้มข้น

ที่มา : ดัดแปลงและเพิ่มเติมจากเอกสารของบริษัท Alfa Laval

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบการนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร

	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิว
นม			
-นมปรุงแต่งกลิ่นรส	3	2	5
-นมข้น	4	4	2
-นมถั่วเหลือง	3	3	5
น้ำผลไม้			
-มีขนาดอนุภาคและเส้นใยมากกว่า 1 mm	5	1	5
-มีขนาดอนุภาคและเส้นใยน้อยกว่า 1 mm	3	1	5
-ไม่มีอนุภาคและเส้นใย	1	1	5
โยเกิร์ต	1	1	4
ครีมรวม	3	3	5
ชาและกาแฟ	1	1	5
อาหารเด็ก	3	3	1
ซุปเข้มข้น	5	2	1

หมายเหตุ : 1 คือ เหมาะสมมากที่สุดที่จะนำมาใช้ 2 คือ เหมาะสมมาก
3 คือ เหมาะสมปานกลาง 4 คือ เหมาะสมน้อย
5 คือ ไม่เหมาะสมเลยที่จะนำมาใช้

ที่มา : ดัดแปลงและเพิ่มเติมจากเอกสารของบริษัทAPV เรื่อง Technology Update

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การคำนวณหาจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน

จากสมมติฐาน

- สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)มีค่าคงที่ตลอดระยะทางการไหล
- ความร้อนจำเพาะ (Cp)ของของเหลวมีค่าคงที่ตลอดระยะทางการไหล
- ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของของเหลวเกิดขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น
- ไม่คิดความร้อนสูญเสียออกจากระบบ

จะได้

อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้า = อัตราการถ่ายเทความร้อนออก

ให้ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างของเหลวสองชนิด $q_1 = \dot{m}C_p\Delta T$ --------(2.1)

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน $q_2 = AU\Delta T_{lm}$ --------(2.2)

$$\dot{m}C_p\Delta T = AU\Delta T_{lm} \quad \text{--------(2.3)}$$

ดังนั้นพื้นที่ทั้งหมดที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนคือ

$$A = \frac{\dot{m}Cp\Delta T}{U\Delta T_{lm}} \quad \text{--------(2.4)}$$

โดยที่ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (kg/s)

หาได้จากสมการ $\dot{m} = \rho Q$ --------(2.5)

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (kg/m^3)

Q คือ อัตราการไหลของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (m^3/s)

A คือ พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน(m^2)

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (J/kg.$^\circ$ C)

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็นก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ($^\circ$ C)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2.^\circ$ C)

ΔT_{lm} คือ ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกการิทึ่มของของเหลวทั้งสองชนิด ($^\circ$ C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall HeatTransferCoefficient,U,$W/m^2.K$)

การถ่ายเทความร้อนรวมแสดงได้ชัดเจนในรูปที่ 2.4 โดยของเหลวร้อนจะถูกกั้นโดยผนังโลหะออกจากของเหลวเย็น จะมีการถ่ายเทความร้อนจากของเหลวร้อนไปสู่ของเหลวเย็นโดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกี่ยวข้องคือ การพาความร้อนจากของเหลวร้อนไปสู่คราบตะกรันด้านที่ 1 การนำความร้อนผ่านชั้นของคราบตะกรันด้านที่ 1 การนำความร้อนผ่านผนังแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน การนำความร้อนผ่านชั้นของคราบตะกรันด้านที่ 2 และการพาความร้อนจากชั้นของคราบตะกรันด้านที่ 2 ไปสู่ของเหลวเย็นดังนั้นถ้าคราบตะกรันมีการจับตัวกันหนามากขึ้นแล้วมีผลทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลงความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้น ระบบจะสูญเสียพลังงานมากในการถ่ายเทความร้อนจากของเหลวร้อนไปสู่ของเหลวเย็น การแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมดแสดงได้ตามสมการ

$$1/U = 1/h_1 + 1/h_2 + x_m/k_m + R_f \qquad \text{--------(2.6)}$$

เมื่อ U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2.{}^\circ C$)

h_1และ h_2 คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของเหลวร้อนและเย็นตามลำดับ ($W/m^2.{}^\circ C$)

x_m คือ ความหนาของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน(m) รวบรวมไว้ในตารางภาคผนวก ก.4

k_m คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน($W/m^\circ C$) รวบรวมไว้ในตารางภาคผนวก ก.3

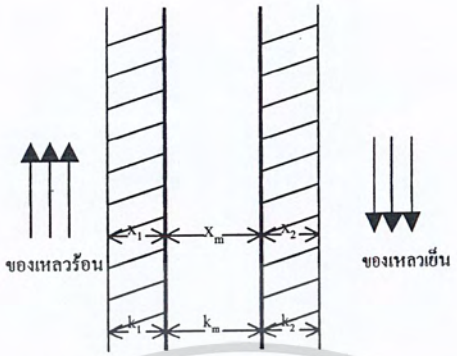
R_f คือ ค่าความต้านทานของคราบตะกรันทั้งสองด้านของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน($m^2.{}^\circ C/W$) รวบรวมไว้ในตารางภาคผนวก ก.5 หรือมีค่าเท่ากับ

$$R_f = x_1/k_1 + x_2/k_2$$

เมื่อ x_1 และ x_2 คือ ความหนาของคราบตะกรันด้านของเหลวร้อนและของเหลวเย็นตามลำดับ (m)

k_1 และ k_2 คือ ค่าการนำความร้อนของคราบตะกรันด้านของเหลวร้อนและของเหลวเย็นตามลำดับ ($W/m^\circ C$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การถ่ายเทความร้อนของของเหลวผ่านชั้นของคราบตะกรันและแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

- **ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat Transfer Coefficient ,h ,$W/m^2.^\circ C$)**

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามรูปแบบการไหล(เช่น ลามินาร์ หรือ เทอร์บูเลนท์) ความเร็วของของเหลว รูปทรงของวัตถุ พื้นที่ที่ของเหลวไหลผ่าน คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของของเหลว อุณหภูมิเฉลี่ย และตำแหน่งต่าง ๆ ตามพื้นผิวของวัตถุ นอกจากนี้ยังขึ้นกับกลไกของการถ่ายเทความร้อนว่าเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ(การเคลื่อนที่ของของเหลวเกิดจากปั๊มหรือพัดลม) หรือเป็นการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (การเคลื่อนที่ของของเหลวเนื่องจากแรงลอยตัว) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน จะแปรเปลี่ยนไปตามตำแหน่งต่าง ๆ ตามพื้นผิววัตถุ ดังนั้นในทางวิศวกรรมแล้ว เพื่อความสะดวกจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยตลอดพื้นผิวแทนค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ตำแหน่งนั้น ๆ การแสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะแสดงได้ตามสมการ

$$h = \frac{Nu.k}{D} \qquad \text{--------(2.7)}$$

เมื่อ. Nu คือ ตัวเลขนัสเซิลต์ (Nusselt Number)

k คือ ค่าการนำความร้อนของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น ($W/m.^\circ C$)

D คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (m)

รวบรวมไว้ในตารางภาคผนวก ก. 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่2.7ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะขึ้นอยู่กับตัวเลขนัสเซิลต์,ค่าการนำความร้อนของของเหลวและระยะห่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่ค่าการนำความร้อนของของเหลวเป็นค่าเฉพาะของของเหลวชนิดนั้นๆ เช่นเดียวกับระยะห่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งจะเป็นค่าเฉพาะของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ ดังนั้นตัวเลขนัสเซิลต์จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญของสมการนี้ โดยที่ ตัวเลขนัสเซิลต์ หาได้จากสมการ

$$Nu = C(Re)^m(Pr)^n \qquad \text{--------(2.8)}$$

- Re คือ ตัวเลขเรย์โนลน์(Reynold Number) มีค่าเท่ากับ

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \qquad \text{--------(2.9)}$$

$$Q = (V^3.L/2g) \qquad \text{-------(2.10)}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็นตามลำดับ(kg/m^3)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็นในช่องว่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (m/s)

L คือ ความยาวของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (m) รวบรวมไว้ในตารางภาคผนวก ก. 4

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2

Q คือ อัตราการไหลของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (m^3/s)

D คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (m)

μ คือ ความหนืดของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (Pa.s) สมการสำหรับหาค่าได้รวบรวบไว้ในตารางภาคผนวก ก. 2

- Pr คือ ตัวเลขแพรนด์เทิล (Prandtl Number) มีค่าเท่ากับ

$$Pr = \frac{C_p\mu}{k} \qquad \text{-------(2.11)}$$

เมื่อ μ คือ ความหนืดของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (Pa.s)

k คือ ค่าการนำความร้อนของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (W/m. $^\circ$C)

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (J/Kg. $^\circ$C)

- C,mและn เป็นค่าคงที่สำหรับสภาวะการไหลแบบใดๆ ซึ่งหาได้จากการทดลองสำหรับชนิดของการไหลแบ่งได้เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Larminar Flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ซึ่งของเหลวที่ไหลผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกควบคุมให้ไหลแบบปั่นป่วนทั้งหมด เนื่องจากผิวหน้าของแผ่นแลกเปลี่ยนความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนที่มีลักษณะเป็นลอน ลูกฟูกหรือรอยหยัก ดังนั้น Cooper(1974) ได้เสนอสมการตัวเลขนัสเซิลต์ของของเหลวที่ไหลแบบปั่นป่วนผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนคือ

$$Nu = 0.28(Re)^{0.65}(Pr)^{0.4} \qquad \text{-------(2.12)}$$

- **ค่าการนำความร้อนของของเหลว (Thermal conductivity , k,W/m. $^{\circ}$ C)**

ค่าการนำความร้อนของของเหลว คือ อัตราการส่งถ่ายพลังงานจากอนุภาคของของเหลวที่มีพลังงานสูงกว่าไปยังอนุภาคของของเหลวที่มีพลังงานต่ำกว่า ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหารขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นและอุณหภูมิ

$$k = \sum k_i x_i^{v} \quad \text{(Maguer and Jelen ,1986)} \qquad \text{-------(2.13)}$$

โดยที่ $x_i^{v} = x_i^{w} \rho/\rho_i$ -------(2.14)

และ $\rho = 1/(\sum x_i^{w}/\rho_i)$ -------(2.15)

เมื่อ k คือ ค่าการนำความร้อนของของเหลว (W/m.$^{\circ}$C)

k_i คือ ค่าการนำความร้อนของส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์(W/m.$^{\circ}$C)

x_i^{w} คือ ค่าส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

ρ_i คือ ความหนาแน่นของส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ (kg/m^3)

สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับค่า k_i ,ρ_i, x_i^{w} รวบรวมไว้ในตารางภาคผนวก ก.1และก.2

- **ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat , C_p, J/kg. $^{\circ}$ C)**

ความร้อนจำเพาะ คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องการในการทำให้วัสดุที่มีมวลหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิสูงขึ้นหนึ่งองศา ค่าความร้อนจำเพาะมีค่าไม่คงที่แต่จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ในการคำนวณอาจใช้ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยในช่วงอุณหภูมิที่ใช้

$$Cp = \sum Cp_i x_i^{w} \qquad \text{-------(2.16)}$$

เมื่อ Cp คือ ความร้อนจำเพาะ (J/kg. $^{\circ}$ C)

Cp_i คือ ความร้อนจำเพาะของส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์

สมการคณิตศาสตร์สำหรับค่า Cp_i รวบรวมไว้ในตารางภาคผนวก ก. 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

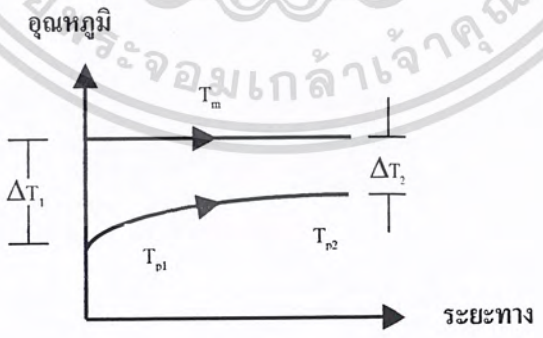
- **ค่าความต้านทานของคราบตะกรัน (Fouling,R_f)**

ในการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ประกอบด้วยการพาความร้อนจากของไหลร้อนไปสู่พื้นผิวของผนังกั้น ต่อด้วยการนำความร้อนจากพื้นผิวด้านนั้น ผ่านเนื้อผนังไปสู่พื้นผิวอีกด้านหนึ่งของผนัง จากนั้นจึงเป็นการพาความร้อนอีกครั้งหนึ่งจากพื้นผิวด้านนี้ไปสู่ของเหลวเย็นเมื่อแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนถูกใช้งานไประยะหนึ่ง ความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อนอันเนื่องจากสิ่งที่เกาะสะสมบนพื้นผิวการกัดกร่อนและตะกรันบนพื้นผิว ซึ่งมักจะเรียกรวมกันว่า เฟาลิ่ง ซึ่งจะไปเพิ่มความต้านทานทางความร้อนสูงขึ้น ผลที่ตามมาคือ การถ่ายเทความร้อนลดลง และความต้านทานการไหลในเส้นทางการไหลเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองของปั๊มและคอมเพรสเซอร์ สัมประสิทธิ์เฟาลิ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง โดยจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเริ่มต้นใช้งานใหม่ ๆ และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามอายุการใช้งาน ในที่สุดอาจจะกลายเป็นความต้านทานที่มีอิทธิพลเหนือตัวอื่น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของของไหลและสภาวะการทำงานของพื้นผิวนั้น ๆ

2.2.2 ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกการิทึ่ม (Log Mean Temperature Difference , ΔT_{lm},° C)

การคำนวณหาค่าผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกการิทึ่มแบ่งพิจารณาเป็น 2 กรณีคือ

<u>กรณีที่ 1</u> การไหลระหว่างตัวกลางสองชนิดโดยที่ตัวกลางหนึ่งมีอุณหภูมิคงที่ตลอดแต่ตัวกลางอีกชนิดหนึ่งอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การไหลของตัวกลางที่มีอุณหภูมิคงที่

การไหลแบบนี้อุณหภูมิของตัวกลางชนิดหนึ่งจะมีค่าคงที่ตลอด ขณะที่อุณหภูมิของตัวกลางอีกชนิดหนึ่งจะเพิ่มขึ้น ตัวอย่างสภาพดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อมีการควบแน่นของไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln [\Delta T_1 / \Delta T_2]} \qquad \text{-------(2.17ก)}$$

$$= \frac{(T_m - T_{p1}) - (T_m - T_{p2})}{\ln [(T_m - T_{p1})/(T_m - T_{p2})]} \qquad \text{-------(2.17ข)}$$

เมื่อ T_m คือ อุณหภูมิของตัวกลาง ($^\circ$ C)

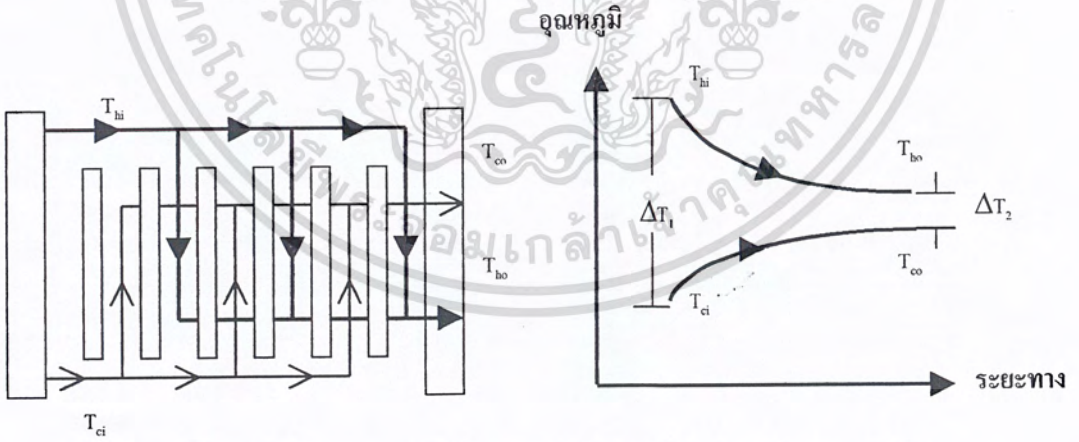
T_{p1} คือ อุณหภูมิเข้าของผลิตภัณฑ์ ($^\circ$ C)

T_{p2} คือ อุณหภูมิออกของผลิตภัณฑ์ ($^\circ$ C)

<u>กรณีที่ 2</u> การไหลระหว่างของเหลวสองชนิดโดยที่ของเหลวทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

- แบบที่ 1 ของเหลวไหลตามกัน (Co-Current Flow)

เริ่มแรกความแตกต่างของอุณหภูมิมีค่ามากและจะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นข้อสำคัญสำหรับการไหลประเภทนี้คืออุณหภูมิที่ทางออกของของเหลวเย็นจะต้องน้อยกว่าอุณหภูมิที่ทางออกของของเหลวร้อนเสมอดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การไหลแบบตามกันในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln [\Delta T_1 / \Delta T_2]} \qquad \text{-------(2.18ก)}$$

$$= \frac{(T_{hi} - T_{ci}) - (T_{ho} - T_{co})}{\ln [(T_{hi} - T_{ci})/(T_{ho} - T_{co})]} \qquad \text{-------(2.18ข)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เมื่อ T_{hi} คือ อุณหภูมิเข้าของของเหลวด้านร้อน ($^{\circ}$ C)

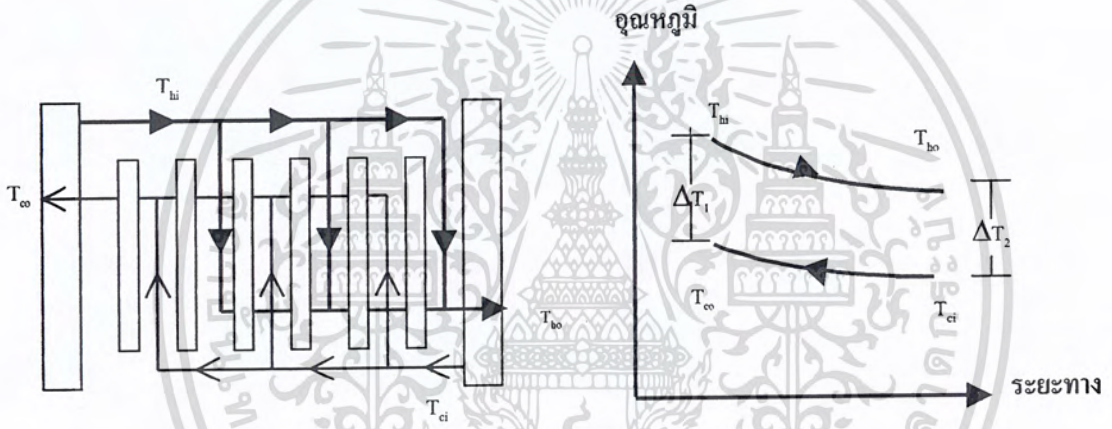
T_{ci} คือ อุณหภูมิเข้าของของเหลวด้านเย็น ($^{\circ}$ C)

T_{ho} คือ อุณหภูมิออกของของเหลวด้านร้อน($^{\circ}$ C)

T_{co} คือ อุณหภูมิออกของของเหลวด้านเย็น ($^{\circ}$ C)

- แบบที่ 2 ของเหลวไหลสวนทางกัน (Counter-Current Flow)

การไหลแบบนี้ต่างจากการไหลแบบตามกันโดยที่ด้านร้อนกว่าของของเหลวทั้งสองอยู่ที่ปลายเดียวกันและด้านเย็นกว่าของของเหลวทั้งสองอยู่ที่ปลายเดียวกันเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ระยะทางใดๆจึงมีค่าสูงไม่เท่ากับทางเข้าของการไหลแบบตามกันดังรูปที่2.7



รูปที่ 2.7 การไหลแบบสวนทางกันในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln [\Delta T_1 / \Delta T_2]} \qquad \text{-------(2.19ก)}$$

$$= \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln [(T_{hi} - T_{co})/(T_{ho} - T_{ci})]} \qquad \text{-------(2.19ข)}$$

เมื่อ T_{hi} คือ อุณหภูมิเข้าของของเหลวด้านร้อน ($^{\circ}$ C)

T_{ci} คือ อุณหภูมิเข้าของของเหลวด้านเย็น ($^{\circ}$ C)

T_{ho} คือ อุณหภูมิออกของของเหลวด้านร้อน($^{\circ}$ C)

T_{co} คือ อุณหภูมิออกของของเหลวด้านเย็น ($^{\circ}$ C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42324

2.3 การคำนวณหาความยาวท่อช่วงคงอุณหภูมิไว้เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (Holding Tube)

2.3.1 ตัวแปรที่ใช้หาเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

1. **D Value** หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้เพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์ลงไปร้อยละ 90 ของจำนวนจุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิม

2. **Z Value** หมายถึง อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อทำให้ค่าD Value ลดลงร้อยละ 90

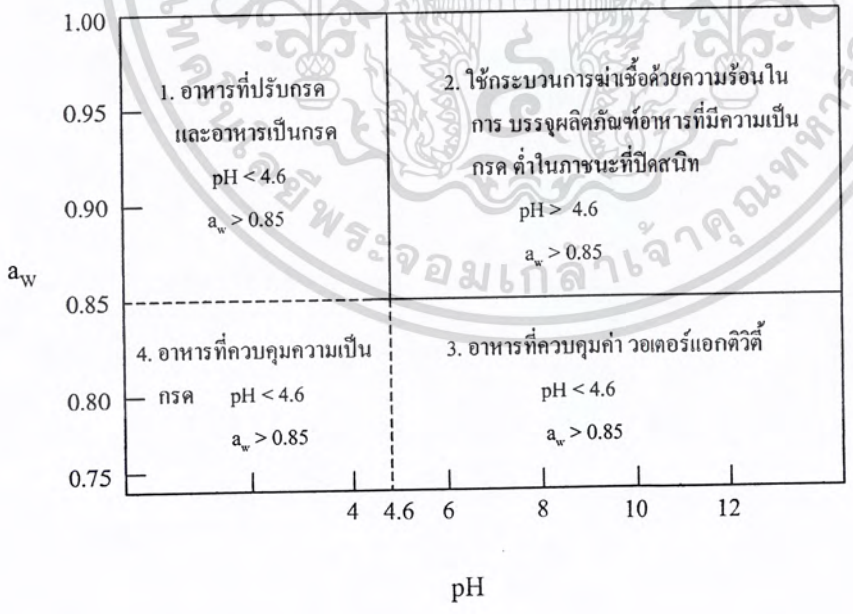
3. **F Value** หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้เพื่อทำลายจุลินทรีย์หรือสปอร์ของจุลินทรีย์ให้ถึงระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

2.3.2 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณความร้อนและเวลาในการฆ่าเชื้อในผลิตภัณฑ์อาหาร มีปัจจัยที่สำคัญ ดังนี้

1. ความเป็นกรด หรือค่า pH

2. วอเตอร์แอกติวิตี้ (Water activity – a_w) เป็นอัตราส่วนของความดันไอของน้ำที่วัดเหนือผลิตภัณฑ์ กับความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ จะเป็นปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญโตและทำปฏิกิริยาต่างๆ โดยค่า a_w = 0.85 หรือมากกว่า เป็นค่าที่ทำให้อาหารเสียง่าย

จากปัจจัยดังกล่าวสามารถแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ



(Rockland and Beuchat,1987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 1 อาหารมี pH < 4.6 และ a_w > 0.85

ตัวอย่างอาหาร เช่น น้ำส้ม อาหารประเภทนี้จะใช้ระดับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนน้อยกว่า 100 °C มีผลเทียบกับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแบบ Sterilization โดยใช้ค่า F_0 อย่างน้อย 0.7

กรณีที่ 2 อาหารมี pH > 4.6 และ a_w > 0.85

ตัวอย่างอาหาร เช่น น้ำนม น้ำซุปผักที่ไม่มีรสเปรี้ยว อาหารประเภทนี้มีความเสี่ยงที่จะพบเชื้อจุลินทรีย์ เช่น *Clostridium botulinum* ดังนั้นถ้าใช้การฆ่าเชื้อระดับ Pasteurization เช่นในน้ำนม ควรใช้ P* ไม่ต่ำกว่า 1 แต่ถ้าใช้การฆ่าเชื้อระดับ Sterilization กับอาหารเหลวควรใช้ F_0 อย่างน้อย 3 และถ้าใช้การฆ่าเชื้อระดับ Ultra High Temperature (UHT) ซึ่งใช้ความร้อนสูงมาก ≈ 135°C กับอาหารเหลวควรใช้ B* อย่างน้อย 1

* รายละเอียดการคำนวณดูที่หน้า 37

กรณีที่ 3 อาหารมี pH > 4.6 และ a_w < 0.85

ตัวอย่างอาหาร เช่น นมข้น น้ำผึ้ง น้ำเชื่อม อาหารประเภทนี้สามารถใช้ระดับฆ่าเชื้อด้วยความร้อนน้อยกว่า 100°C มีผลเทียบกับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแบบ Sterilization

กรณีที่ 4 อาหารมี pH < 4.6 และ a_w < 0.85

ตัวอย่างอาหาร เช่น ผลไม้ดองเค็ม ผลไม้อบแห้ง สภาวะนี้ไม่ต้องใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ ก็สามารถเก็บอาหารอยู่ได้โดยไม่เน่าเสีย

2.3.3 ระดับการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้ออาหารเหลว

- **การพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurization)**

การให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์เป็นการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำเดือด เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทุกชนิด สำหรับระบบที่ใช้ในการให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์ประกอบด้วยการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ มี 2 ระดับคือ ระบบอุณหภูมิต่ำเวลานาน (Low temperature long time ;LTLT) เป็นระบบที่ใช้อุณหภูมิไม่สูงแต่เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนจะนาน เช่น อุณหภูมิ 140° F หรือ 60°C จำเป็นต้องใช้เวลานานถึง 30 นาที และระบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น (High temperature short time ;HTST) เป็นระบบที่ใช้อุณหภูมิสูงแต่เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนจะสั้น เช่น อุณหภูมิ 190° F หรือ 87.5° C จะใช้เวลาเพียง 15 วินาทีเท่านั้น

ผลิตภัณฑ์พาสเจอร์ไรส์นี้ อาจผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนก่อนหรือหลังการบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ก็ได้ การพาสเจอร์ไรส์อาหารก่อนบรรจุในภาชนะบรรจุ สำหรับกระบวนการที่มีการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องและมีอัตราการผลิตไม่มากนัก อาจใช้เครื่องมือง่าย ๆ เช่น หม้อต้ม แต่สำหรับการพาสเจอร์ไรส์อาหารเหลวที่มีความหนืดไม่มากนัก เช่น นม น้ำผลไม้ เบียร์ ไวน์ ซึ่งต้องการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบต่อเนื่องในปริมาณมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.8 นิยมใช้การพาสเจอร์ไรส์ด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

- นม จะทำเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เช่น Brucella abortis,Mycobacterium tuberculosis,Coxiella burnettii และทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เสื่อมเสียและเอนไซม์ โดยใช้อุณหภูมิ 63^{0}C 30 นาที หรือ 71.5^{0}C 15 วินาที

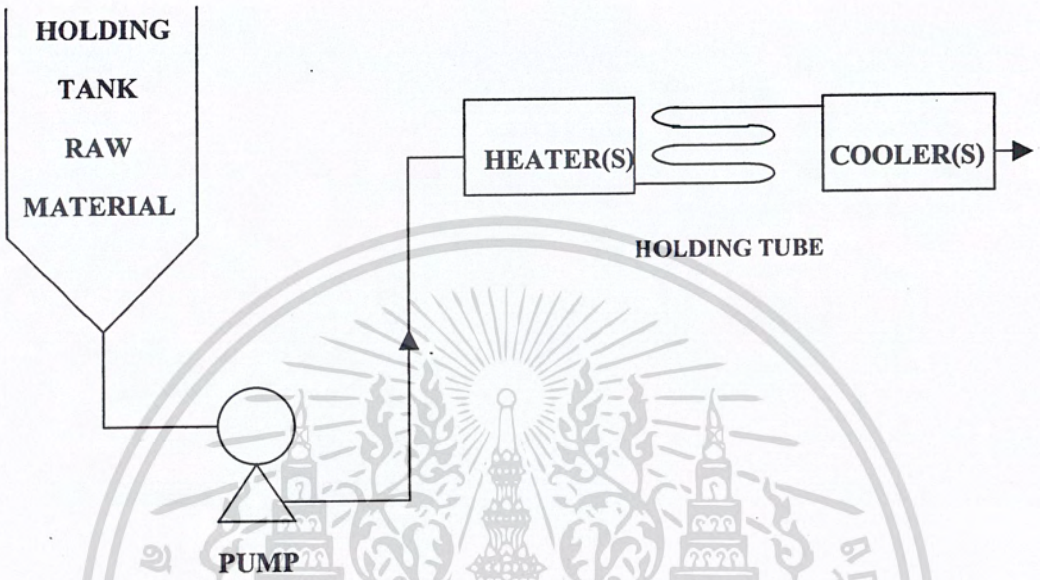
จะเห็นว่าอุณหภูมิและเวลามีผลต่อการพาสเจอร์ไรส์ด้วยเหมือนกันดังแสดงความสัมพันธ์ไว้ในรูปที่ 2.9

- **การสเตอริไลส์**

การให้ความร้อนในระดับสเตอริไลส์ เป็นการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิน้ำเดือด เพื่อทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมด ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์แต่ในความเป็นจริงแล้ว อาหารเหล่านั้นยังคงมีจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ก่อให้เกิดโรคเหลืออยู่ ส่วนกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรคถูกทำลายไป แต่จุลินทรีย์ส่วนที่เหลืออยู่ไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวยต่อการเติบโต ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนลักษณะนี้ เรียกว่า การให้ความร้อนระดับสเตอรไลส์ในเชิงการค้า(Commercial sterility foods)

เครื่องฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลส์ในกระบวนการยูเอชที (UHT, Ultra High Temperature)เป็นแบบต่อเนื่องโดยเป็นระบบให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีความสามารถในการเพิ่มและลดอุณหภูมิของอาหารได้อย่างรวดเร็วอย่างไรก็ตามนอกจากการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของอาหารจะขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้แล้ว ยังขึ้นอยู่กับสมบัติของอาหารด้วยลักษณะของเครื่องที่ใช้ในกระบวนการเป็นเครื่องที่มีความสามารถในการเพิ่มอุณหภูมิแก่อาหารให้ได้สูงกว่า 132 ^{0}C สามารถทำให้อาหารแผ่ขยายออกซึ่งมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของอาหารความดันภายในเครื่องจะต้องไม่สูง และสามารถใช้ปั๊มในการขนถ่ายในเครื่องมือได้เครื่องมือควรได้รับการออกแบบที่จะสามารถทำความสะอาดตัวเองในขณะทำงาน เพื่อให้อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงตลอดเวลา และช่วยลดการเกาะติดของอาหารลักษณะการให้ความร้อนที่นิยมใช้ในกระบวนการมี 2 ลักษณะ คือการให้ความร้อนโดยตรงโดยอาศัยการพ่นไอน้ำร้อนไปที่ผลิตภัณฑ์โดยตรง การให้ความร้อนทางอ้อมโดยอาศัยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อแบบแผ่น และแบบท่อ ทั้งนี้นิยมใช้แบบแผ่นมากกว่า ข้อจำกัดบางประการเมื่อนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นมาใช้ความดันสูงสุดที่ใช้ประมาณ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราการไหลของอาหารค่อนข้างต่ำคือ ประมาณ 1.5-2.0 เมตรต่อวินาที อาหารบางชนิดอาจมีของแข็งไปเกาะบนแผ่นให้ความร้อน เนื่องจากอัตราการไหลต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีการทำความสะอาด ใช้ได้เฉพาะอาหารที่มีความหนืดต่ำต้องระวังให้มีการขยายตัวและหดตัวของแผ่นให้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันการเสียหายของแผ่นให้ความร้อน

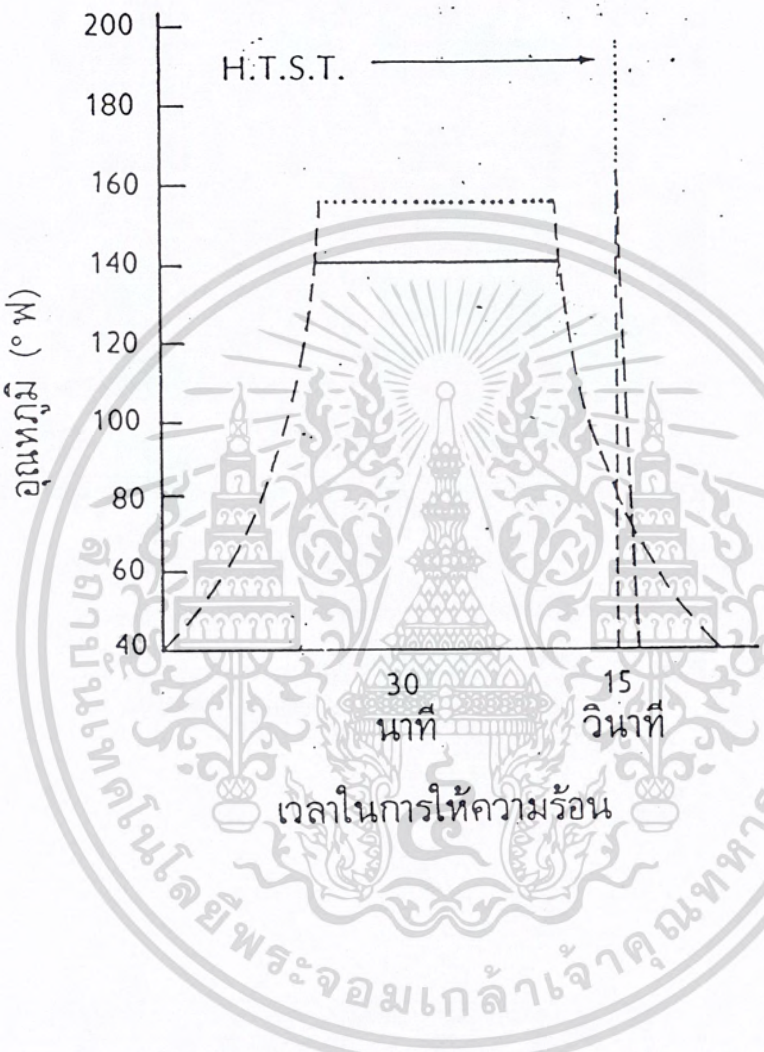
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงขั้นตอนของขบวนการพาสเจอร์ไรซ์และการสเตอริไลส์

ที่มา : (Holdsworth ,1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาของการให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์

ที่มา : (อรวินท์ เลาหรัชตนันท์ ,2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 คำนวณหาอัตราการตายของจุลินทรีย์ ที่อุณหภูมิใดๆระหว่างเวลาที่กำหนด

จากสมการ

$$L = 10^{(T-Tref)/Z}.t \quad \text{(Holdsworth ,1992)} \qquad \text{-------(2.20)}$$

เมื่อ L คือ อัตราการตายของจุลินทรีย์

T คือ อุณหภูมิของขบวนการ (^{o}C)

T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิง (^{o}C)

Z คือ Z Value ของเชื้อจุลินทรีย์

t คือ เวลาที่ใช้ระหว่างขบวนการ (s)

- คำนวณหาค่า F ได้จากการอินทิเกรต สมการอัตราการตาย ดังสมการ

$$F = \int_0^t L\,dt \qquad \text{-------(2.21)}$$

$$F = \int_0^t 10^{(T-Tref)/Z}.dt \qquad \text{------(2.22)}$$

$$F = 10^{(T-Tref)/Z}.t \qquad \text{------(2.23)}$$

เมื่อ F คือ F Value

L คือ อัตราการตายของจุลินทรีย์

T คือ อุณหภูมิของขบวนการ (^{o}C)

T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิง (^{o}C)

Z คือ Z Value ของเชื้อจุลินทรีย์

t คือ เวลาที่ใช้ระหว่างขบวนการ (s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 การฆ่าเชื้ออาหารเหลวที่ไม่มีชิ้นเนื้ออาหารแขวนลอยอยู่ แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ

- การพาสเจอร์ไรซ์โดยที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว (Flash Pasteurization) ดังรูปที่ 2.10

การพาสเจอร์ไรซ์แบบนี้เวลาในการให้ความร้อนในช่วงเพิ่มอุณหภูมิและลดอุณหภูมิใช้เวลาน้อยมากในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ค่า F จากสมการ

$$F = 10^{(T-Tref)/Z}.t \quad \text{(Holdsworth ,1992)}$$

เมื่อ F คือ F Value

L คือ อัตราการตายของจุลินทรีย์

T คือ อุณหภูมิของขบวนการ ($^{\circ}C$)

T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิง ($^{\circ}C$)

Z คือ Z Value ของเชื้อจุลินทรีย์

t คือ เวลาที่ใช้ระหว่างขบวนการ (s)

ค่า F เป็นค่าในช่วงของการคงอุณหภูมิไว้เท่านั้น เนื่องจากค่า F ในช่วงของการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating) และช่วงลดอุณหภูมิ(Cooling) มีค่าน้อยมากสามารถที่จะตัดทิ้งได้

- การพาสเจอร์ไรซ์โดยที่อุณหภูมิค่อยๆเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นเส้นตรง(Continuous heating in a heat exchanger with linear temperature) ดังแสดงในรูปที่ 2.11

การพาสเจอร์ไรซ์แบบนี้เวลาในการให้ความร้อนในช่วงเพิ่มอุณหภูมิและลดอุณหภูมิใช้เวลามากขึ้นเพื่อทำลายจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ค่า F หาได้จากสมการ

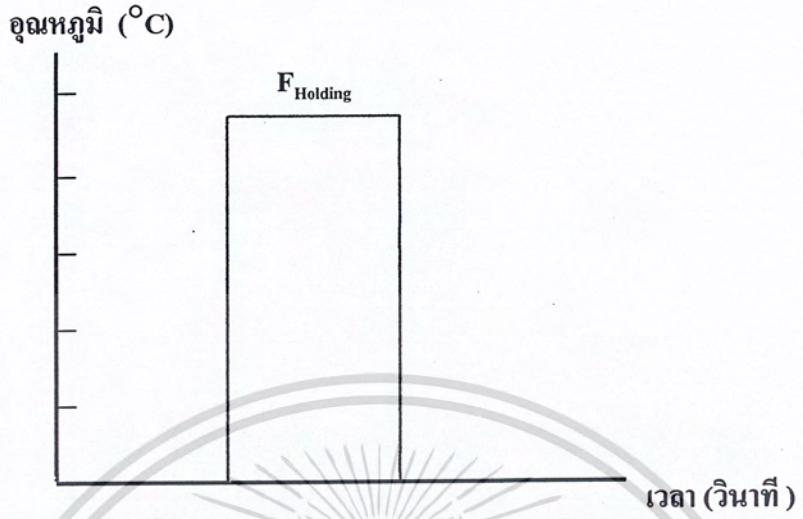
$$F = 10^{(T-Tref)/Z}.t \quad \text{(Holdsworth ,1992)}$$

คือค่า F ในช่วงของการเพิ่มอุณหภูมิ,คงอุณหภูมิ และลดอุณหภูมิ รวมกัน

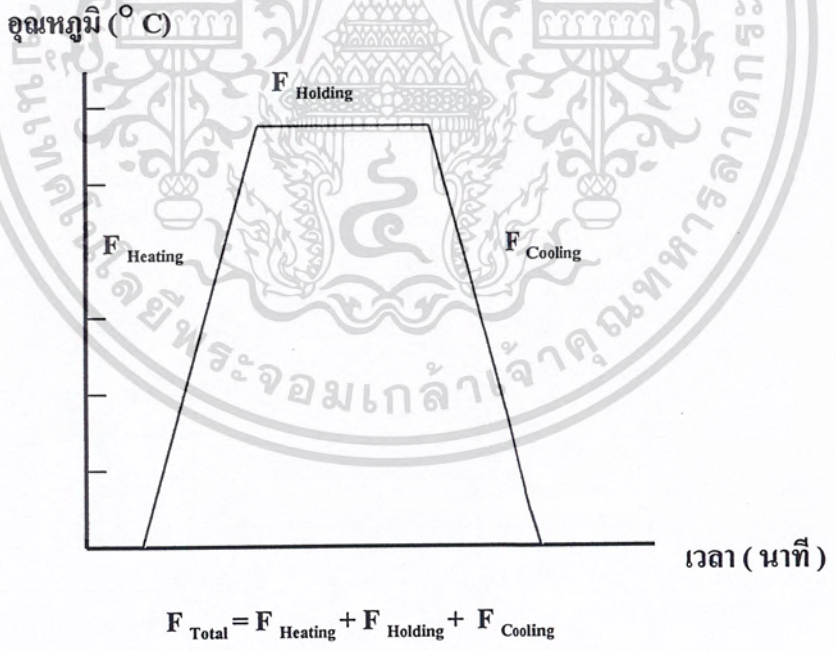
เนื่องจากการพาสเจอร์ไรซ์แบบนี้ใช้เวลานานกว่าแบบแรกดังนั้นค่า F ของการเพิ่มอุณหภูมิและลดอุณหภมิ จึงมีผลต่อค่า F

$$F_{Total} = F_{Heating} + F_{Holding} + F_{Cooling} \qquad \text{------(2.24)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 Flash Pasteurization



รูปที่ 2.11 Contineuous heating in a heat exchanger with linear temperature gradient

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คำนวณหาความยาวของ Holding Tube จากสมการ

$$L = 4Qt/\pi d^2 \text{ (Holdsworth ,1992)} \qquad \text{------(2.25)}$$

เมื่อ L คือ ความยาวของ Holding Tube (m)

Q คือ อัตราการไหลของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (m^3/s)

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (m)

t คือ เวลาที่ใช้ระหว่างขบวนการ (s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ตัวอย่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการออกแบบระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นที่มีผู้พัฒนาขึ้น เช่น โปรแกรมบริษัท GEA AHLBORN, โปรแกรมบริษัท Alfa Laval

1. โปรแกรมบริษัท GEA AHLBORN (รูปที่ 12)

- การใช้โปรแกรมผู้ใช้ต้องจำรหัสตัวเลขที่ใช้แทนความหมายของค่าต่าง ๆที่ใช้ในการออกแบบ หากผู้ใช้ไม่ทราบรหัสตัวเลขก็ไม่สามารถใช้โปรแกรมได้
- โปรแกรมสามารถคำนวณหาค่าอุณหภูมิได้เพียงตำแหน่งเดียวคืออุณหภูมิทางออกของด้านของเหลวเย็น
- โปรแกรมสามารถคำนวณและแสดงค่าที่เกี่ยวข้องได้คือ ค่าความหนาแน่น ความหนืด ความร้อนจำเพาะ ค่าการนำความร้อน ตัวเลขเรย์โนลน์ ตัวเลขแพรนด์เทิล ตัวเลขนัสเซิลต์ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม พื้นที่ถ่ายเทความร้อนทั้งหมด จำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

2. โปรแกรมบริษัท Alfa Laval (รูปที่ 13)

- การใช้โปรแกรมผู้ใช้สามารถป้อนค่าข้อมูล คือ ค่าอัตราการไหล อุณหภูมิทางเข้า-ออกของของเหลวด้านร้อนและด้านเย็น เลือกชนิดของของเหลว ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน ตามที่ปรากฏได้เลย
- โปรแกรมสามารถคำนวณและแสดงค่าเฉพาะจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

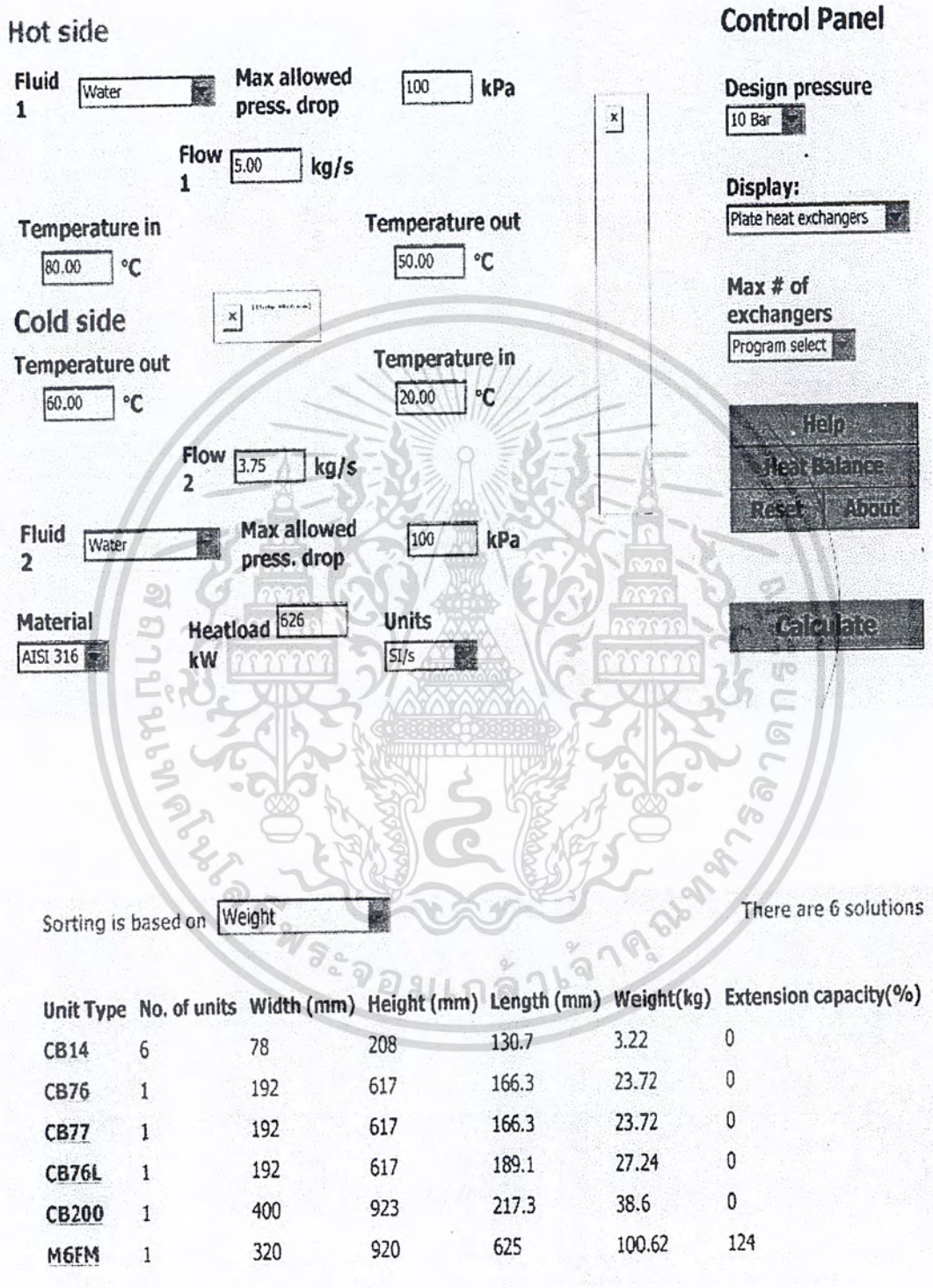
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 10 Computer printing

```
G E A  A H L B O R N    P L A T E H E A T E X C H A N G E R
==================version phe66p:88030.00 0.00================

CUSTOMER          : EISENMANN     INQUIRYNUMBER  :79-113-01
ENGINEER          : H.Test        DATE           :04-19-1989


D E S I G N   D A T A   MEDIUM 1      MEDIUM 2

MEDIUM                :  WATER           WATER
FLOW RATE             :     43.000       43.000     M3/H
TEMPERATURE,IN        :    110.000       80.000     GRD C
TEMPERATURE,OUT       :     90.000       79.724     GRD C
SPECIFIC HEAT         :      1.007        1.001     KCAL/KG GRD C
DENSITY.              :    958.375      977.851     KG/M3
THERMAL CONDUC.       :      0.585        0.568     KCAL/M H GRD C
KIN.VISCOSITY         :      0.296        0.418     C ST
OPERATING PRESSURE    :     11.000       11.000     BAR
PRESS DROP MAX        :      5.000        5.000     M WS
SURFACE MIN           :          1.00              %

C A L C U L A T I O N  and  C O N S T R U C T I O N   D A T A

PLATE TYPE            :                  20HV
HEAT EXCHANGED        :             880006                 KCAL/H
PRESSURE DROP TOTAL:      3.640            2.092          M WS
REYNOLDS              :  21247.7          15022.7
ALPHA                 :  16792.7          15268.7          KCAL/H M^2 GRD C
VELOCITY TUBE         :      2.44             2.44        M/S
MAX VELOC. GAP        :      2.55             2.55        M/S
MEAN VELOC. GAP       :      0.81             0.81        M/S
K-VALUE               :           4236.93                 KCAL/H M^2 GRD C
K-VALUE CLEAN         :           5779.09                 KCAL/H M^2 GRD C
LOG TEMP.DIFF (LTD)   :             30.14                 GRD C
SURFACE UNIT/TOTAL    :      4.50     8.50                M^2
SURFACE MARGIN        :             36.40                 PERCENT
PASSES/GAPS           :      1./  13.         1./  13.
NO.OF PL UNIT/TOTAL:              27.              27.
PLATE MATERIAL        :                 1.4401
GASKET MATERIAL       :                 NBR
FRAME TYPE            :                 C-12
FRAME MATERIAL        :                 ST 37.2
SURFACE FINISH        :                 RAL 5012
NO.IN PARALLEL        :                   1
NO.IN SERIES          :                   1
PACKET LENGTH         :                 121.0              MM
MAX. PACKET LENGTH    :                 241.0              MM
VOLUME                :                    30              LT
```

รูปที่ 2.12 หน้าจอแสดงผลการคำนวณโปรแกรมของบริษัท GEA AHLBORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Unit Type	No. of units	Width (mm)	Height (mm)	Length (mm)	Weight(kg)	Extension capacity(%)
CB14	6	78	208	130.7	3.22	0
CB76	1	192	617	166.3	23.72	0
CB77	1	192	617	166.3	23.72	0
CB76L	1	192	617	189.1	27.24	0
CB200	1	400	923	217.3	38.6	0
M6FM	1	320	920	625	100.62	124

รูปที่ 2.13 หน้าจอแสดงผลการคำนวณโปรแกรมของบริษัท Alfa Laval

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โปรแกรมและหลักการคำนวณ

โปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นบน Microsoft Visual Basic Version 6.0 โดยประกอบด้วยส่วนคำนวณ 2 ส่วนได้แก่

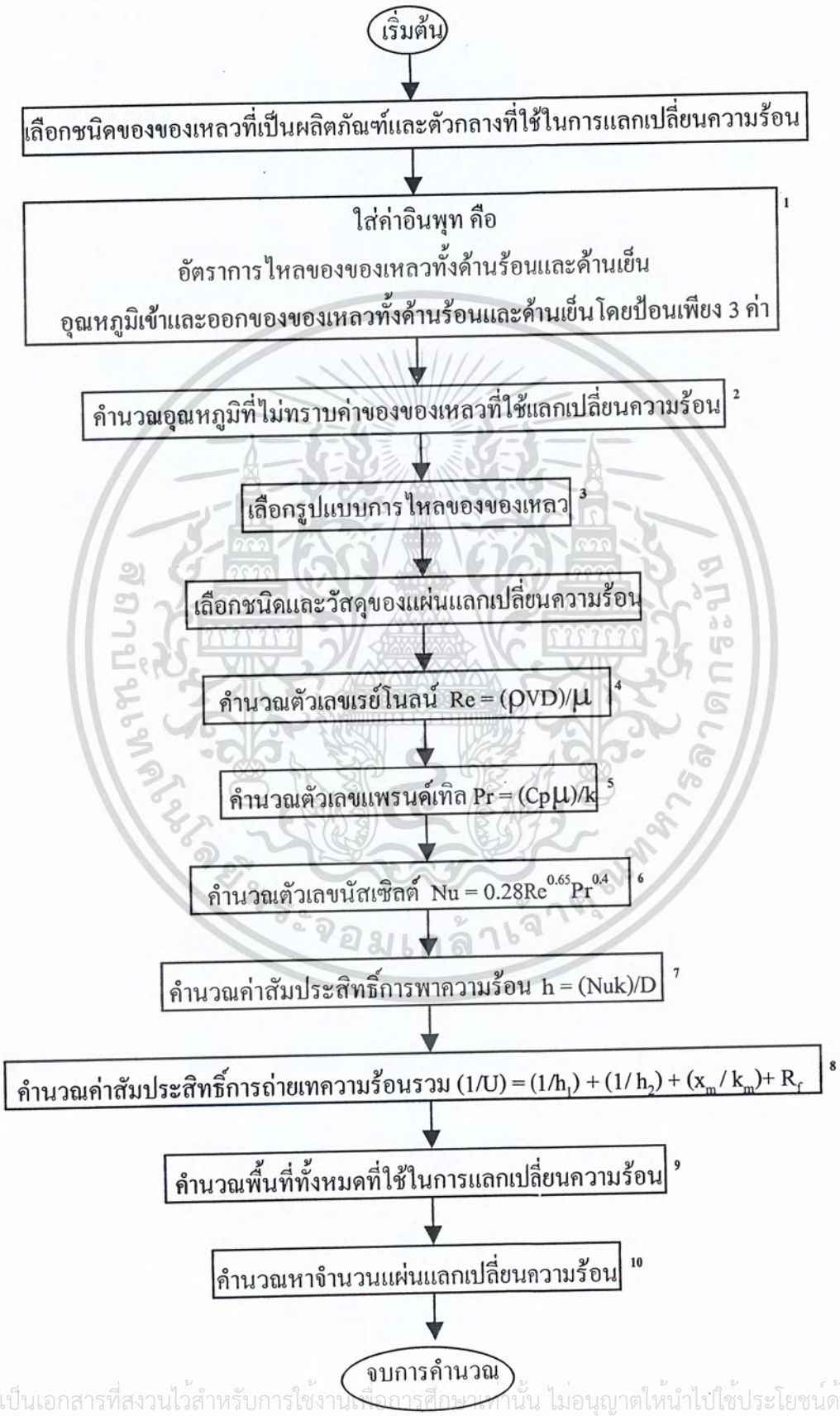
1. ส่วนคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น
2. ส่วนคำนวณความยาวท่อช่วงที่คงอุณหภูมิไว้เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย(Holding Tube)

<u>ผังการทำงานของโปรแกรม</u>

1. ผังการคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน
2. ผังการคำนวณความยาวของท่อช่วงคงอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 ผังการคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

1. อัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์และตัวกลางที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนหาได้จาก

สมการ $\dot{m} = \rho Q$ --------(3.1)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (kg/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (kg/m^3)

Q คือ อัตราการไหลของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (m^3/s)

2. จากสมดุลความร้อน

จาก $q = \dot{m}C_p\Delta T$ สามารถหาค่าอุณหภูมิที่ไม่ทราบค่า

$\dot{m}_h C_{ph} (T_i - T_o) = \dot{m}_c C_{pc} (T_o - T_i)$ --------(3.2)

สมมติฐาน 1) ไม่คิดการสูญเสียความร้อนจากเครื่องสู่สิ่งแวดล้อม

2) ไม่คิดความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) ในแผ่น plate

3) ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์และพลังงานจลน์

คำนวณหาค่า ปริมาณความร้อน จากสมการ

$q = \dot{m}C_p\Delta T$ --------(3.3)

โดยที่ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (kg/s)

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (J/kg.$^\circ$ C)

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็นก่อนเข้าและหลังออกจาก เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ($^\circ$ C)

3. คำนวณหาค่าผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกการิทึม ΔT_{lm} หน่วย [$^\circ$ C]

การคำนวณหาค่าผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกการิทึมแบ่งพิจารณาเป็น 2 กรณีคือ

<u>กรณีที่ 1</u> การไหลระหว่างตัวกลางสองชนิดโดยที่ตัวกลางหนึ่งมีอุณหภูมิคงที่ตลอดแต่ตัวกลางอีกชนิดหนึ่งอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln [\Delta T_1 / \Delta T_2]} \quad \text{--------(3.4 ก)}$$

$$= \frac{(T_m - T_{p1}) - (T_m - T_{p2})}{\ln [(T_m - T_{p1})/(T_m - T_{p2})]} \quad \text{--------(3.4 ข)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กรณีที่ 2</u> การไหลระหว่างของเหลวสองชนิดโดยที่ของเหลวทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

- แบบที่ 1 ของเหลวไหลตามกัน

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln [\Delta T_1 / \Delta T_2]} \qquad \text{--------(3.5 ก)}$$

$$= \frac{(T_{hi} - T_{ci}) - (T_{ho} - T_{co})}{\ln [(T_{hi} - T_{ci})/(T_{ho} - T_{co})]} \qquad \text{--------(3.5 ข)}$$

- แบบที่ 2 ของเหลวไหลสวนทางกัน

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln [\Delta T_1 / \Delta T_2]} \qquad \text{--------(3.6 ก)}$$

$$= \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln [(T_{hi} - T_{co})/(T_{ho} - T_{ci})]} \qquad \text{--------(3.6 ข)}$$

4. คำนวณหาค่าตัวเลขเรย์โนลน์

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \qquad \text{--------(3.7)}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็นตามลำดับ(kg/m^3)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็นในช่องว่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (m/s)

D คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (m)

μ คือ ความหนืดของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (Pa.s)

5. คำนวณหาค่าตัวเลขแพรนด์เทิล

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \qquad \text{--------(3.8)}$$

เมื่อ C_p คือ ความร้อนจำเพาะของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (J/Kg. $^\circ$ C)

μ คือ ความหนืดของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็นไหล (Pa.s)

k คือ ค่าการนำความร้อนของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (W/m. $^\circ$ C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. คำนวณหาค่าตัวเลขนัสเซิลต์

$$Nu = 0.28(Re)^{0.65}(Pr)^{0.4} \qquad \text{--------(3.9)}$$

เมื่อ Re คือ ตัวเลขเรย์โนลน์

Pr คือ ตัวเลขแพรนด์เทิล

7. คำนวณหาค่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

$$h = \frac{Nu.k}{D} \qquad \text{--------(3.10)}$$

เมื่อ Nu คือ ตัวเลขนัสเซิลต์

k คือ ค่าการนำความร้อนของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (W/m. $^{\circ}$ C)

D คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (m)

8. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

$$1/U = 1/h_1 + 1/h_2 + x_m/k_m + R_f \qquad \text{--------(3.11)}$$

$$R_f = x_1/k_1 + x_2/k_2 \qquad \text{--------(3.12)}$$

เมื่อ U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (W/m^2.$^{\circ}$ C)

h_1และ h_2 คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของเหลวร้อนและเย็นตามลำดับ (W/m^2.$^{\circ}$ C)

x_m คือ ความหนาของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน(m)

k_m คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน(W/m$^{\circ}$ C)

R_f คือค่าความต้านทานของคราบตะกรันทั้งสองด้านของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (m^2.$^{\circ}$C /W)

x_1 และ x_2 คือ ความหนาของคราบตะกรันด้านของเหลวร้อนและของเหลวเย็นตามลำดับ (m)

k_1 และ k_2 คือ ค่าการนำความร้อนของคราบตะกรันด้านของเหลวร้อนและของเหลวเย็นตามลำดับ (W/m$^{\circ}$ C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. คำนวณหาพื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน

จากสมการ $\dot{m}C_p\Delta T = AU\Delta T_{lm}$ --------(3.13)

ดังนั้นพื้นที่ทั้งหมดที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนคือ $A = \frac{\dot{m}Cp\Delta T}{U\Delta T_{lm}}$ --------(3.14)

เมื่อ A คือ พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน(m^2)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (J/kg.$^\circ$C)

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็นก่อนเข้าและหลังออก จากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ($^\circ$C)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (W/m^2.$^\circ$C)

ΔT_{lm} คือ ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกการิทึมของของเหลวทั้งสองชนิด ($^\circ$C)

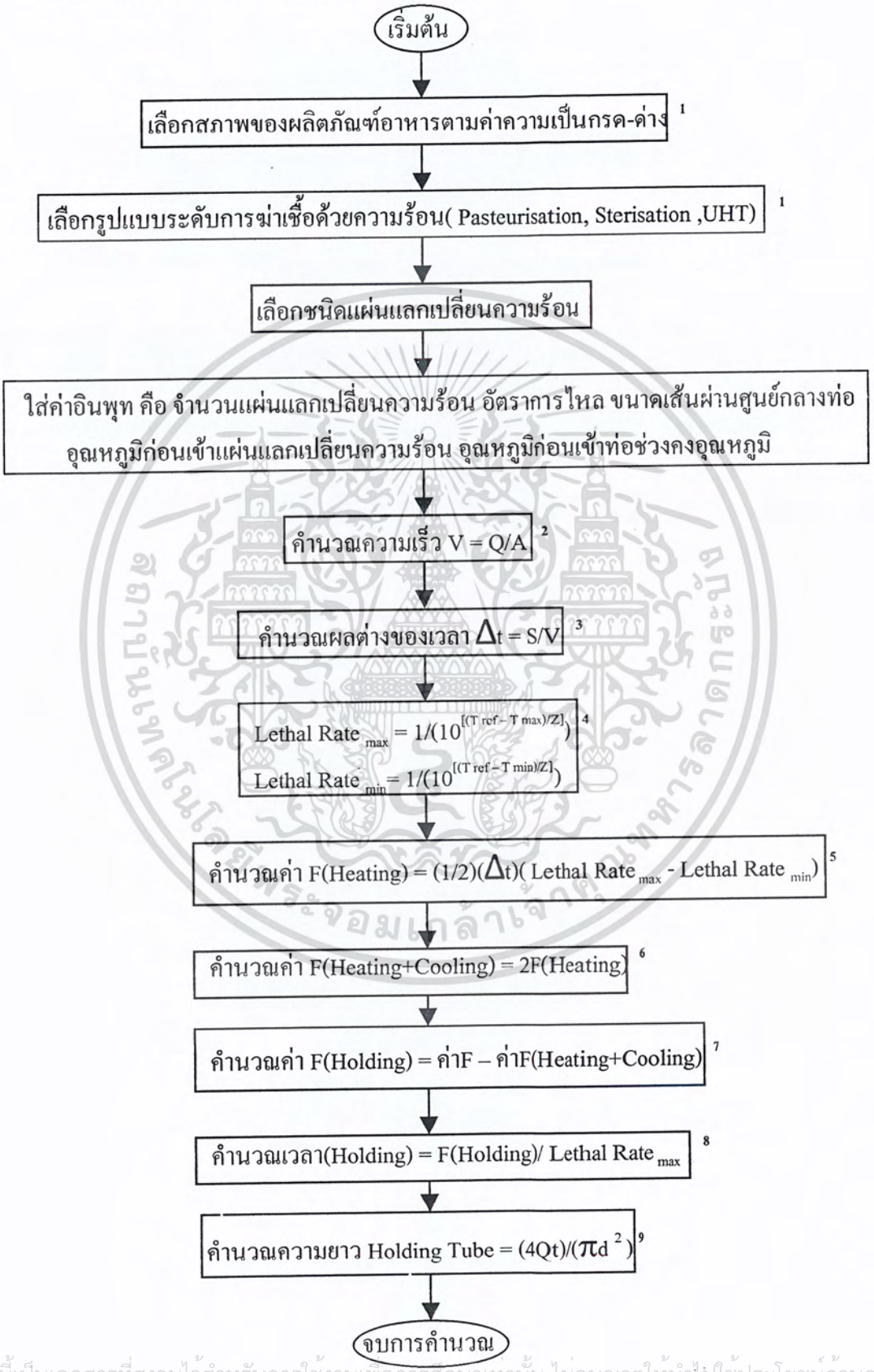
10. คำนวณหาจำนวณแผ่นที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน

กำหนดให้แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน 1 แผ่น มีพื้นที่เท่ากับ a (m^2)

ดังนั้นจำนวณแผ่นที่ใช้ในการแลก เปลี่ยนความร้อนคือ จำนวนแผ่น = A/a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ผังการคำนวณความยาวท่อช่วงคงอุณหภูมิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

1. เลือกสภาพของผลิตภัณฑ์อาหารตามค่าความเป็นกรด-ด่างเพื่อสามารถประมาณค่าการฆ่าเชื้อต่ำสุดและรูปแบบระดับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

ประเภทของอาหาร	ระดับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน	ค่าการฆ่าเชื้อต่ำสุด	สมการที่ใช้คำนวณ	อ้างอิง
pH > 4.6	พาสเจอร์ไรส์	$P^* = 1$	$P^* = \frac{1}{15}\int_0^t 10^{(T-72)/8}.dt$	Kessler (1985)
	สเตอริไลส์	$F_0 = 3$	$F_0 = \int_0^t 10^{(T-121.1)/10}.dt$	Hersom and Hulland(1980)
	UHT	$B^* = 1$	$B^* = \frac{1}{10.1}\int_0^t 10^{(T-135)/10.5}.dt$	Horak (1980)
pH < 4.6	พาสเจอร์ไรส์	$F_0 = 0.7$	$F_0 = \int_0^t 10^{(T-121.1)/10}.dt$	Hersom and Hulland(1980)
	UHT	$F_0 = 0.7$		

2. คำนวณความเร็ว

จากสมการ $V = Q/A$ --------(3.15)

เมื่อ V คือ ความเร็วของของเหลว (m/s)

Q คือ อัตราการไหลของของเหลว (m^3/s)

A คือ พื้นที่ของช่องที่มุมแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (m^2)

3. คำนวณผลต่างของเวลา

จากสมการ $\Delta t = S/V$ --------(3.16)

เมื่อ Δt คือ เวลาที่ของเหลวอยู่ในช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (s)

S คือ ระยะทางที่ของเหลวไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (m)

V คือ ความเร็วของของเหลว (m/s)

4. คำนวณอัตราการตายของจุลินทรีย์

จากสมการ $\text{Lethal Rate}_{max} = 1/(10^{[(T\,ref - T\,max)/Z]})$ --------(3.17)

$\text{Lethal Rate}_{min} = 1/(10^{[(T\,ref - T\,min)/Z]})$ --------(3.18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิง ($^{\circ}C$)

T_{max} คือ อุณหภูมิสูงสุด ($^{\circ}C$)

Z คือ Z Value ของเชื้อจุลินทรีย์

5. คำนวณค่า F(Heating)

จากสมการ $F(Heating) = (1/2)(\Delta t)(\text{ Lethal Rate}_{max} - \text{Lethal Rate}_{min})$ --------(3.19)

เมื่อ Δt คือ เวลาที่ของเหลวอยู่ในช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (s)

Lethal Rate_{max} คือ อัตราการตายของเชื้อจุลินทรีย์สูงสุด

Lethal Rate_{min} คือ อัตราการตายของเชื้อจุลินทรีย์ต่ำสุด

6. คำนวณค่า F(Heating+Cooling)

จากสมมติฐาน

- จำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงลดอุณหภูมิเท่ากับในช่วงเพิ่มอุณหภูมิ
- อุณหภูมิของของเหลวก่อนเข้าแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับอุณหภูมิของของเหลวออกจากแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

ได้ สมการ $F(Heating+Cooling) = 2F(Heating)$ --------(3.20)

7. คำนวณค่า F(Holding)

จากสมการ F(Holding) = ค่าF – ค่าF(Heating+Cooling) --------(3.21)

8. คำนวณเวลา(Holding)

จากสมการ $\text{เวลา(Holding)} = F(Holding)/ \text{Lethal Rate}_{max}$ --------(3.22)

9. คำนวณความยาว Holding Tube

จากสมการ $L = (4Qt)/(\pi d^2)$ --------(3.23)

เมื่อ L คือ ความยาวของท่อช่วงคงอุณหภูมิ (m)

Q คือ อัตราการไหลของของเหลว (m^3/s)

t คือ เวลาที่ของเหลวอยู่ในช่วงคงอุณหภูมิ (s)

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อช่วงคงอุณหภูมิ (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

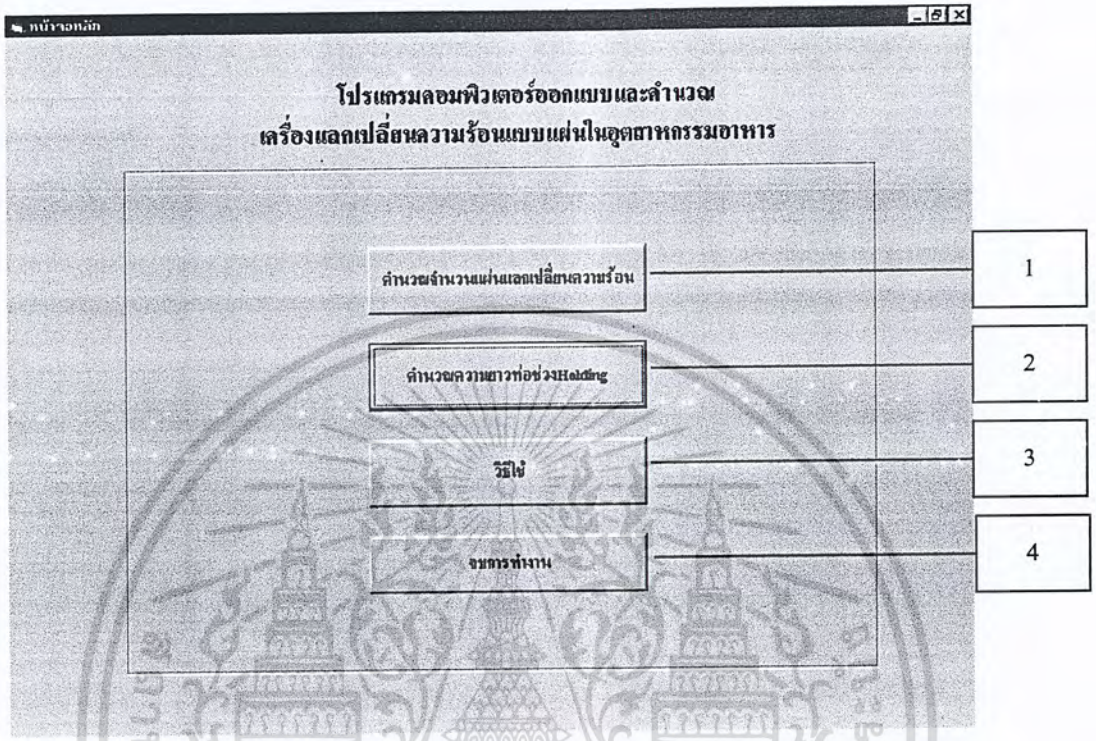
3.2 รายละเอียดของโปรแกรม

เมื่อเริ่มใช้งานโปรแกรมจะปรากฏหน้าจอต้อนรับเข้าสู่โปรแกรมก่อนที่โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าจอหลักให้กดบนหน้าจอต้อนรับเข้าสู่โปรแกรม หน้าจอจะหายไป

รูปที่ 3.1 หน้าจอต้อนรับเข้าสู่โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หน้าจอหลัก



รูปที่ 3.2 หน้าจอหลักของโปรแกรม

<u>หน้าที่</u> หน้าจอหลัก(รูปที่ 3.2) เป็นหน้าจอต้อนรับเข้าสู่โปรแกรมและให้ทำการเลือกหัวข้อที่ต้องการใช้งานในโปรแกรม

<u>ส่วนประกอบ</u>

หมายเลข	1	ปุ่มคำสั่งคำนวณเพื่อเรียกหน้าจอสำหรับคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น เมื่อผู้ใช้กดปุ่มนี้ จะแสดงหน้าจอ ดังรูป 3.3
หมายเลข	2	ปุ่มคำสั่งคำนวณเพื่อเรียกหน้าจอสำหรับคำนวณความยาวท่อช่วงที่คงอุณหภูมิไว้เพื่อให้จุลินทรีย์ถูกทำลายจนถึงระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค เมื่อผู้ใช้กดปุ่มนี้ จะแสดงหน้าจอ ดังรูป 3.5
หมายเลข	3	ปุ่มคำสั่งเพื่อเรียกหน้าจอแสดงวิธีการใช้โปรแกรม
หมายเลข	4	ปุ่มคำสั่งเพื่อสิ้นสุดการทำงานและออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างแสดงขั้นตอนการใช้งาน

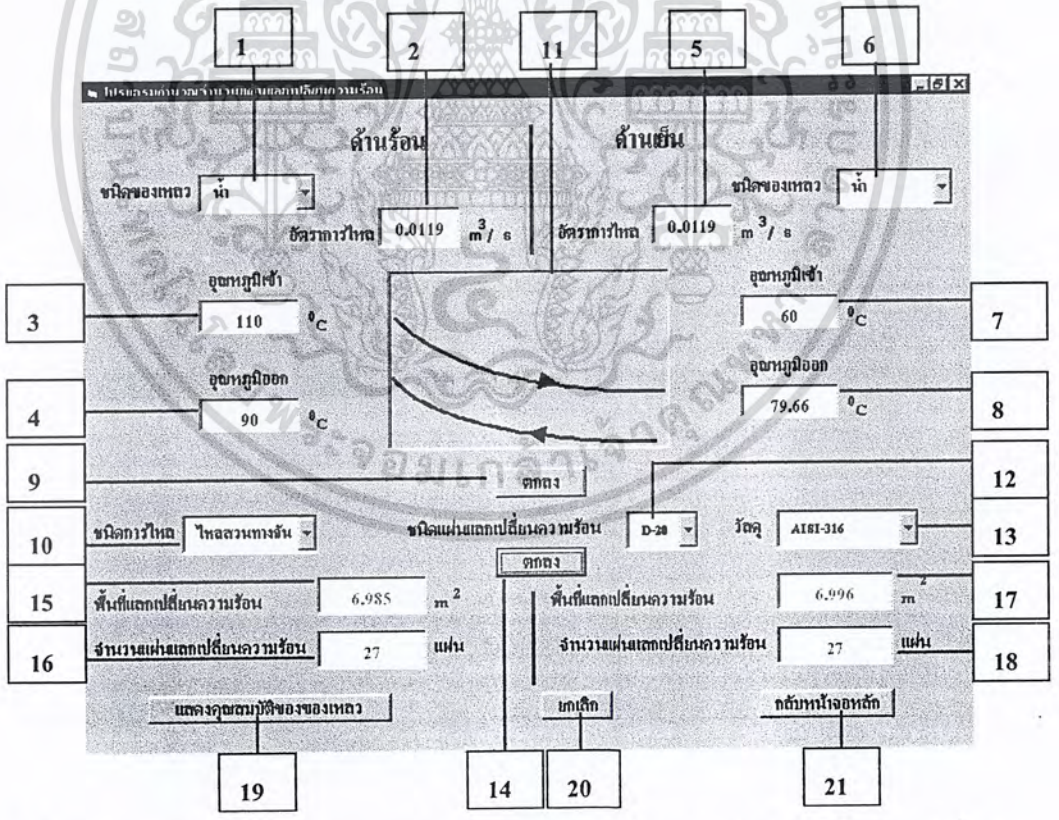
ขั้นที่ 1 เมื่อเข้าสู่โปรแกรมแล้วหากต้องการทราบวิธีการใช้งานให้ทำการกดปุ่มวิธีใช้ (หมายเลข 3 รูปที่ 3.2) จะปรากฏหน้าจอแสดงวิธีการใช้โปรแกรม

ขั้นที่ 2 เมื่อต้องการคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นให้กดปุ่มคำนวณ (หมายเลข 1 รูปที่ 3.2) โปรแกรมจะปรากฏหน้าจอคำนวณ ดังรูป 3.3

ขั้นที่ 3 เมื่อต้องการคำนวณความยาวท่อช่วงคงอุณหภูมิไว้เพื่อให้จุลินทรีย์ถูกทำลายจนถึงระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค(หมายเลข 2 รูปที่ 3.2)

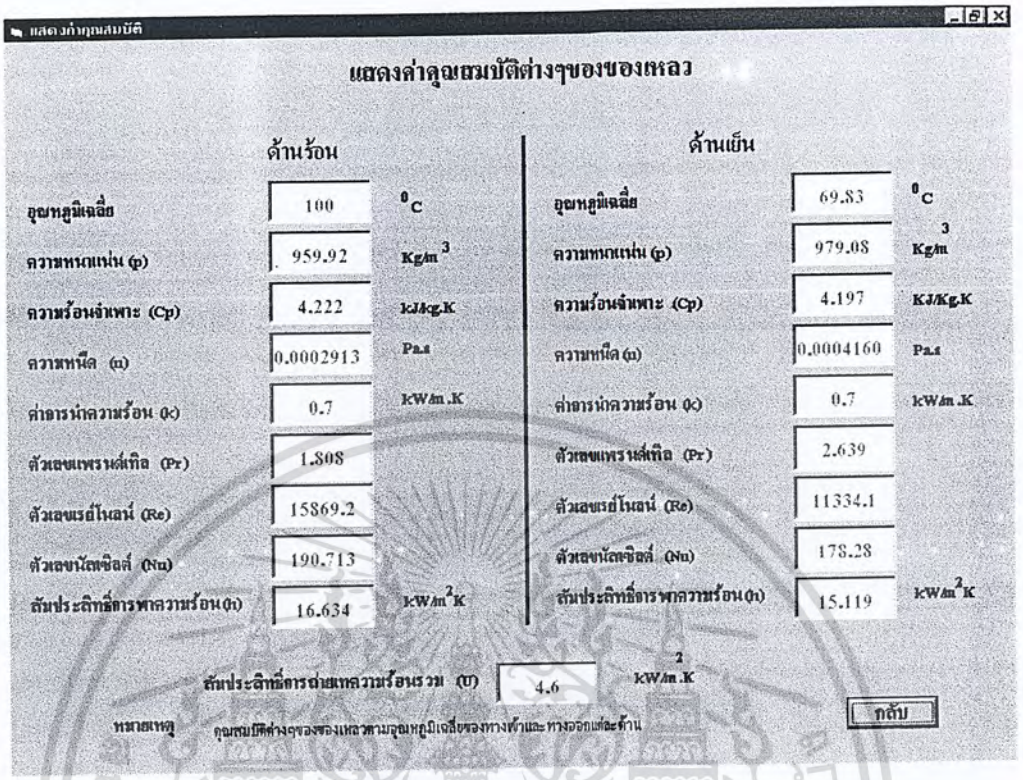
ขั้นที่ 4 เมื่อต้องการสิ้นสุดการทำงานและออกจากโปรแกรมให้กดปุ่มจบการทำงาน โปรแกรมจะสิ้นสุดการทำงานและออกสู่หน้าจอวินโดว์(หมายเลข 4 รูปที่ 3.2)

2.ส่วนคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น



รูปที่ 3.3 แสดงหน้าจอสำหรับคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงหน้าจอคุณสมบัติต่าง ๆของของเหลว

<u>หน้าที่</u> ส่วนคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น มี 2 หน้าจอในหน้าจอแรก (รูปที่ 3.3) แบ่งการทำงานเป็น 5 ขั้นตอนโดยขั้นตอนที่ 1 เป็นการเลือกชนิดของผลิตภัณฑ์และตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน ขั้นที่ 2 เป็นการป้อนข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน ขั้นที่ 3 เป็นการคำนวณหาอุณหภูมิด้านที่ไม่ทราบค่าของผลิตภัณฑ์หรือตัวกลาง ขั้นที่ 4 เป็นการเลือกรูปแบบของการไหล ชนิดและวัสดุของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน ขั้นที่ 5 เป็นการหาจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน ในหน้าจอที่ 2 (รูปที่ 3.4) เป็นการแสดงคุณสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์และตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนที่คำนวณจากหน้าจอแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบ

1. หน้าต่าง " คำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น" (รูปที่ 3.3)

หมายเลข	1	ช่องรายการเลือกชนิดของของเหลวด้านร้อน
หมายเลข	2	ช่องรับค่าอัตราการไหลของของเหลวด้านร้อน
หมายเลข	3	ช่องรับค่าอุณหภูมิทางเข้าของของเหลวด้านร้อน
หมายเลข	4	ช่องรับค่าอุณหภูมิทางออกของของเหลวด้านร้อน
หมายเลข	5	ช่องรายการเลือกชนิดของของเหลวด้านเย็น
หมายเลข	6	ช่องรับค่าอัตราการไหลของของเหลวด้านเย็น
หมายเลข	7	ช่องรับค่าอุณหภูมิทางเข้าของของเหลวด้านเย็น
หมายเลข	8	ช่องรับค่าอุณหภูมิทางออกของของเหลวด้านเย็น
หมายเลข	9	ปุ่มคำสั่งเพื่อยืนยันข้อมูลที่ป้อน จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าในหมายเลข 2 ,3,4,6,7 หรือ 8 ที่ไม่ทราบค่า
หมายเลข	10	ช่องรายการเลือกชนิดของการไหลของของเหลว
หมายเลข	11	รูปแสดงการไหลของของเหลวตามที่เลือกในหมายเลข 10
หมายเลข	12	ช่องรายการเลือกชนิดของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน
หมายเลข	13	ช่องรายการเลือกวัสดุที่ใช้ทำแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน
หมายเลข	14	ปุ่มคำสั่งเพื่อยืนยันข้อมูลที่ป้อน จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณหาจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน
หมายเลข	15	ช่องแสดงข้อความคำตอบของการคำนวณพื้นที่ทั้งหมดในการแลกเปลี่ยนความร้อนด้านของเหลวร้อน
หมายเลข	16	ช่องแสดงข้อความคำตอบของการคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนด้านของเหลวร้อน
หมายเลข	17	ช่องแสดงข้อความคำตอบของการคำนวณพื้นที่ทั้งหมดในการแลกเปลี่ยนความร้อนด้านของเหลวเย็น
หมายเลข	18	ช่องแสดงข้อความคำตอบของการคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนด้านของเหลวเย็น
หมายเลข	19	ปุ่มคำสั่งเพื่อเรียกหน้าจอแสดงคุณสมบัติต่างๆของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 20 ปุ่มคำสั่งเพื่อทำการล้างข้อมูลในส่วนนี้เมื่อต้องการคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนโดยเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ ตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิ อัตราการไหล ชนิดการไหล ชนิดและวัสดุของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนใหม่

หมายเลข 21 ปุ่มคำสั่งเมื่อต้องการกลับสู่หน้าจอหลัก

2. หน้าต่าง " แสดงคุณสมบัติต่างๆของของเหลว" (รูปที่ 3.4) แสดงคุณสมบัติของของเหลวทั้งด้านร้อนและด้านเย็น ประกอบด้วย ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด ค่าการนำความร้อน ตัวเลขแพรนด์เทิล ตัวเลขเรย์โนลน์ ตัวเลขนัสเซิลต์ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน และ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

<u>ตัวอย่างแสดงขั้นตอนการใช้งาน</u>

เมื่อผู้ใช้เข้าสู่หน้าจอคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

ขั้นที่ 1 เลือกของเหลวด้านร้อน เป็นน้ำ และด้านเย็น เป็นน้ำ

ขั้นที่ 2 ป้อนอัตราการไหล เช่น 0.0119 m^3/s ทั้งทางด้านร้อนและด้านเย็น

ขั้นที่ 3 สมมุติว่าต้องการทราบค่าอุณหภูมิออกของของเหลวด้านเย็นให้ผู้ใช้ทำการป้อนค่าอุณหภูมิเข้าของของเหลวด้านร้อน,อุณหภูมิออกของของเหลวด้านร้อน และอุณหภูมิเข้าของของเหลวด้านเย็น เช่น 110 °C,90°C และ 60°C ตามลำดับ

ขั้นที่ 4 กดปุ่มตกลง (หมายเลข 9 รูป 3.3) โปรแกรมจะทำการคำนวณแล้วแสดงค่าอุณหภูมิออกของของเหลวด้านเย็น ในที่นี้คือ 79.66 °C

ขั้นที่ 5 เลือกชนิดการไหล เช่น ไหลสวนทางกัน โปรแกรมจะแสดงรูปการไหลตามที่เลือก (หมายเลข 11 รูป 3.3)

ขั้นที่ 6 เลือกชนิดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น D-20

ขั้นที่ 7 เลือกวัสดุ เช่น AISI-316

ขั้นที่ 8 กดปุ่มตกลง โปรแกรมจะทำการคำนวณแล้วแสดงค่าพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนและจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งด้านร้อนและด้านเย็น (หมายเลข15,16,17และ18รูป 3.3)

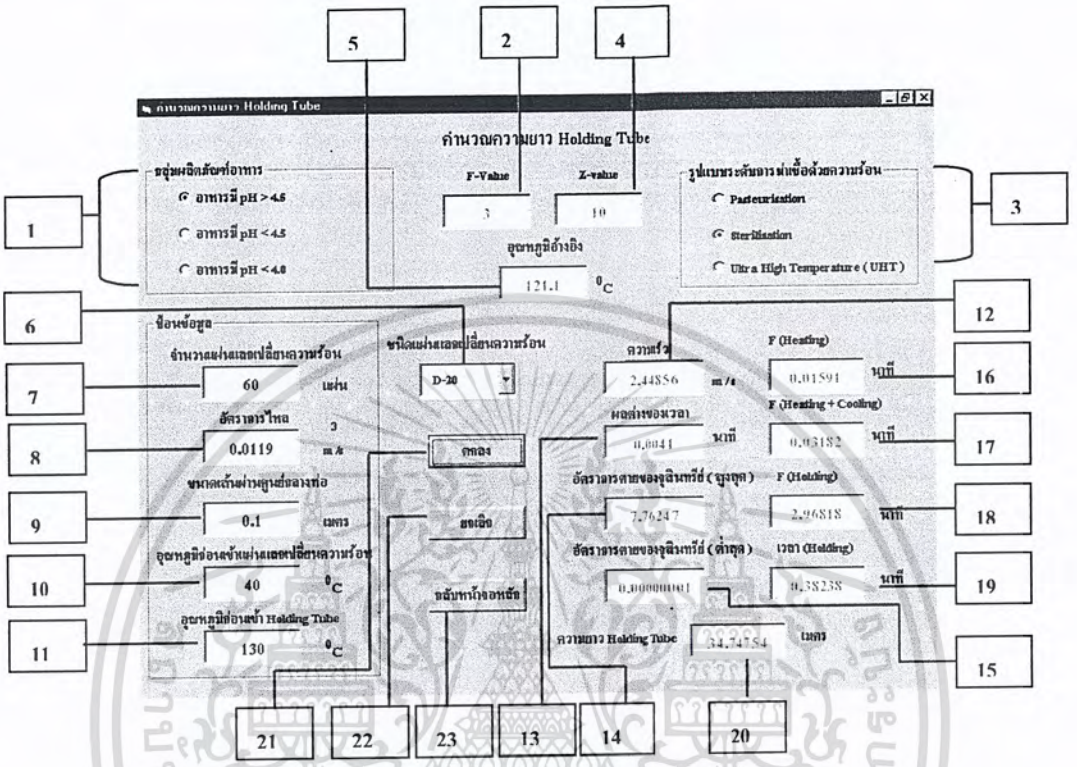
ขั้นที่ 9 หากต้องการทราบค่าคุณสมบัติของของเหลวที่เลือกให้ทำการกดปุ่มแสดงคุณสมบัติ (หมายเลข 19 รูป 3.3)โปรแกรมจะทำการเรียกหน้าจอแสดงคุณสมบัติของของเหลว

ขั้นที่ 10 หากต้องการเปลี่ยนแปลงการคำนวณใหม่ให้กดปุ่มยกเลิก(หมายเลข 20 รูป 3.3)

ขั้นที่ 11 หากต้องการปิดหน้าจอนี้และกลับไปหน้าจอหลักให้ทำการกดปุ่มกลับสู่หน้าจอหลัก (หมายเลข 21 รูป 3.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ส่วนคำนวณความยาวท่อช่วงคงอุณหภูมิไว้เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย



รูปที่ 3.5 แสดงหน้าจอสำหรับคำนวณความยาวท่อช่วงที่คงอุณหภูมิไว้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย

<u>หน้าที่</u> ส่วนคำนวณความยาวท่อช่วงที่คงอุณหภูมิไว้เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยแบ่งการทำงานเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการเลือกกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหาร รูปแบบระดับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนและชนิดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน ขั้นที่สองป้อนข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้คำนวณและขั้นสุดท้ายคำนวณความยาวท่อช่วงที่คงอุณหภูมิไว้เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบ

1. หน้าต่างคำนวณความยาวท่อช่วงที่คงอุณหภูมิไว้เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (รูปที่ 3.5)

หมายเลข 1 ช่องรายการเลือกกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม
1. อาหารมี pH > 4.6
2. อาหารมี pH < 4.6
3. อาหารมี pH < 4.0

หมายเลข 2 ช่องแสดงข้อความ F-Valve ของกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารที่ pH ค่าต่างๆ

หมายเลข 3 ช่องรายการเลือกรูปแบบระดับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ซึ่งจะแบ่งเป็น 3 รูปแบบ
1. Pasteurization
2. Sterilization
3. Ultra High Temperature (UHT)

หมายเลข 4 ช่องแสดงข้อความ Z-value ของรูปแบบระดับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

หมายเลข 5 ช่องแสดงข้อความอุณหภูมิอ้างอิงของรูปแบบระดับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

หมายเลข 6 ช่องรายการเลือกชนิดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน มี 2 แบบ คือ แบบ D-10 และ แบบ D-20

หมายเลข 7 ช่องรับข้อมูลป้อนจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

หมายเลข 8 ช่องรับข้อมูลป้อนอัตราการไหล

หมายเลข 9 ช่องรับข้อมูลป้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

หมายเลข 10 ช่องรับข้อมูลป้อนอุณหภูมิก่อนเข้าแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

หมายเลข 11 ช่องรับข้อมูลป้อนอุณหภูมิก่อนเข้า Holding Tube

หมายเลข 12 ช่องแสดงข้อความคำตอบของการคำนวณความเร็วที่ของเหลวอยู่ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

หมายเลข 13 ช่องแสดงข้อความคำตอบของการคำนวณผลต่างของเวลา

หมายเลข 14 ช่องแสดงข้อความคำตอบของการคำนวณอัตราการตายของจุลินทรีย์ (สูงสุด)

หมายเลข 15 ช่องแสดงข้อความคำตอบของการคำนวณอัตราการตายของจุลินทรีย์ (ต่ำสุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 16 แสดงข้อความคำตอบของการคำนวณค่า F(Heating)

หมายเลข 17 แสดงข้อความคำตอบของการคำนวณค่า F(Heating+Cooling)

หมายเลข 18 คำนวณค่า F(Holding)

หมายเลข 19 แสดงข้อความคำตอบของการคำนวณเวลา(Holding)

หมายเลข 20 แสดงข้อความคำตอบของการคำนวณความยาว Holding Tube

หมายเลข 21 ปุ่มคำสั่งเพื่อยืนยันข้อมูลและคำนวณค่า

หมายเลข 22 ปุ่มคำสั่งเพื่อทำการล้างข้อมูลในส่วนนี้และทำการคำนวณใหม่

หมายเลข 23 ปุ่มคำสั่งเพื่อกลับสู่หน้าจอหลัก

<u>ตัวอย่างแสดงขั้นตอนการใช้งาน</u>

เมื่อผู้ใช้เข้าสู่หน้าจอนี้

ขั้นที่ 1 เลือกกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น อาหารมี pH > 4.6 โปรแกรมจะทำการกำหนดข้อมูลให้ $F_0 = 3$ นาที

ขั้นที่ 2 เลือกกระบวนการถนอมและแปรรูปอาหาร เช่น Sterilization โปรแกรมจะทำการกำหนดข้อมูลค่า Z = 10 และอุณหภูมิอ้างอิง = 121.1 ^{0}C

ขั้นที่ 3 เลือกชนิดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น D-20 โปรแกรมจะทำการดึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ

ขั้นที่ 4 ป้อนข้อมูลที่จำเป็นคือ จำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน 60 แผ่น,อัตราการไหล 0.0119 m^3/s ,ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 0.1 m ,อุณหภูมิก่อนเข้า Holding Tube 130 ^{0}C และอุณหภูมิก่อนเข้าแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน 40 ^{0}C

ขั้นที่ 5 กดปุ่มตกลงเพื่อให้โปรแกรมทำงานและแสดงผลที่ต้องการดังรูปที่ 3.5

ขั้นที่ 6 กดปุ่มยกเลิกเพื่อทำการล้างข้อมูลในส่วนนี้และทำการคำนวณใหม่

ขั้นที่ 7 กดปุ่มกลับสู่หน้าจอหลักเมื่อต้องการปิดหน้าจอนี้และกลับสู่หน้าจอหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
บทวิจารณ์และสรุป

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการศึกษาและออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นโปรแกรมสำหรับคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนและหาขนาดความยาวของท่อช่วงคงอุณหภูมิไว้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ให้ถึงระดับปลอดภัย พัฒนาขึ้นบนโปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถคำนวณคุณสมบัติต่างๆ ของของเหลวได้อย่างถูกต้อง

โปรแกรมประกอบด้วยส่วนที่ 1 เป็นหน้าต่างคำนวณจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนและค่าคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่นและความหนืดของของเหลวเป็นต้น ส่วนที่ 2 เป็นหน้าต่างคำนวณหาความยาวของท่อช่วงคงอุณหภูมิและค่าตัวเลขต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ เช่น อัตราการตายของเชื้อจุลินทรีย์ ค่า F และเวลาที่ของเหลวอยู่ในช่วง เพิ่มอุณหภูมิ ช่วงคงอุณหภูมิ และช่วงลดอุณหภูมิ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการศึกษาและออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ช่วยในการคำนวณหาจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการเลือกข้อมูล จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณและแสดงผลที่คำนวณได้ในรูปค่าตัวเลข (ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมดังอธิบายไว้ในบทที่ 3 โปรแกรมและหลักการคำนวณ)

ทว่าโปรแกรมนี้มีข้อจำกัดบางประการในการใช้งาน อาทิ คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์บางอย่าง เช่น ความหนืด และความต้านทานเฟาลิ่งของของเหลวบางชนิด ทางคณะผู้จัดทำไม่สามารถหาได้ ดังนั้นผลลัพธ์ที่คำนวณได้อาจคลาดเคลื่อนไปบ้าง รวมถึงโปรแกรมไม่มีฐานข้อมูล ทำให้คำนวณได้กับผลิตภัณฑ์ที่มีให้เลือกเท่านั้น ถ้าต้องการคำนวณผลิตภัณฑ์อื่นต้องเพิ่มคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เข้าไปในโปรแกรม แนวทางการพัฒนาโปรแกรมนี้สามารถทำได้โดย การสร้างฐานข้อมูลให้โปรแกรม เพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณได้หลากหลายรูปแบบมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางภาคผนวก ก.1 แสดงค่าส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	น้ำ	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน	เถ้า
น้ำส้ม	87.5	0.8	11.4	0.2	0.4
นมสดไขมันเต็ม	87.0	3.5	4.9	3.9	0.7
นมขาดมันเนย	90.5	3.5	5.1	0.1	0.8
ซุปมะเขือเทศ	87.4	1.8	14.6	1.8	0.4
น้ำ	100	0	0	0	0

ที่มา : Signh and Heldman (1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ก.2 แสดงสูตรคุณสมบัติต่างๆของอาหาร

คุณสมบัติ	สมการ
ค่าความร้อนจำเพาะ (Cp) J/kg ^{o}C	$Cp_{น้ำ} = (4.1762 - (0.000090864\ T) + (0.0000054731\ T^2))$ $Cp_{โปรตีน} = (2.0082 + (0.0012089\ T) - (0.0000013129\ T^2))$ $Cp_{คาร์โบไฮเดรต} = (1.5488 + (0.0019625\ T) - (0.0000059399\ T^2))$ $Cp_{ไขมัน} = (1.9842 + (0.0014733\ T) - (0.0000048008\ T^2))$ $Cp_{เถ้า} = (1.0926 + (0.0018896\ T) - (0.0000036817\ T^2))$
ค่าการนำความร้อน (k) W/m ^{0}C	$k_{น้ำ} = 0.57109 + (0.0017625\ T) - (0.0000067036\ T^2)$ $k_{โปรตีน} = 0.1788 + (0.0011958\ T) - (0.0000027178\ T^2)$ $k_{คาร์โบไฮเดรต} = 0.20141 + (0.0013874\ T) - (0.0000043312\ T^2)$ $k_{ไขมัน} = 0.18071 - (0.0027604\ T) - (0.00000017749\ T^2)$ $k_{เถ้า} = 0.0032962 + (0.0014011\ T) - (0.0000029069\ T^2)$
ความหนาแน่น (ρ) kg/m^3	$\rho_{น้ำ} = (997.18 + (0.0031439\ T) - (0.0037574\ T^2))$ $\rho_{โปรตีน} = (1329.9 - (0.5184\ T))$ $\rho_{คาร์โบไฮเดรต} = (1599.1 - (0.31046\ T))$ $\rho_{ไขมัน} = (925.59 - (0.41757\ T))$ $\rho_{เถ้า} = (2423.8 - (0.28063\ T))$
ความหนืด (μ) Pa.s	$\mu_{น้ำ} = (10\ ^\wedge\ ((-10.73) + (1828 / T) + (0.01966\ T) + (-0.00001466) T^2) / 1000$ $\mu_{นมสดไขมันเต็ม} = 0.0212$ Pa.s $\mu_{นมขาดมันเนย} = 0.0014$ Pa.s

ที่มา : Maguer and Jelen (1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ก.3 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

วัสดุ	ค่าการนำความร้อน (k_m) , W/m ^{0}C
AISI 306	14.9
AISI 316	13.4
AISI 317	13.1
Titanium 0.6 mm	21.9
Titanium 0.7 mm	21.9

ที่มา : Signh and Heldman (1984)

ตารางภาคผนวก ก.4 แสดงส่วนประกอบต่างๆของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

ส่วนประกอบ	D 10	D 20
พื้นที่แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (A) , m^2	0.115	0.260
ระยะห่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน(D) , m^2	0.0055	0.0078
ความหนาของชุดโครงหน้าและโครงอัด , m	0.05	0.1
ความหนาของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (x_m) , mm	0.5	0.7
ความยาวของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (L) , m	0.781	0.992
เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องที่มุมของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (d) , m	0.0508	0.0787

ที่มา : เอกสารบริษัท GEA AHLBORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

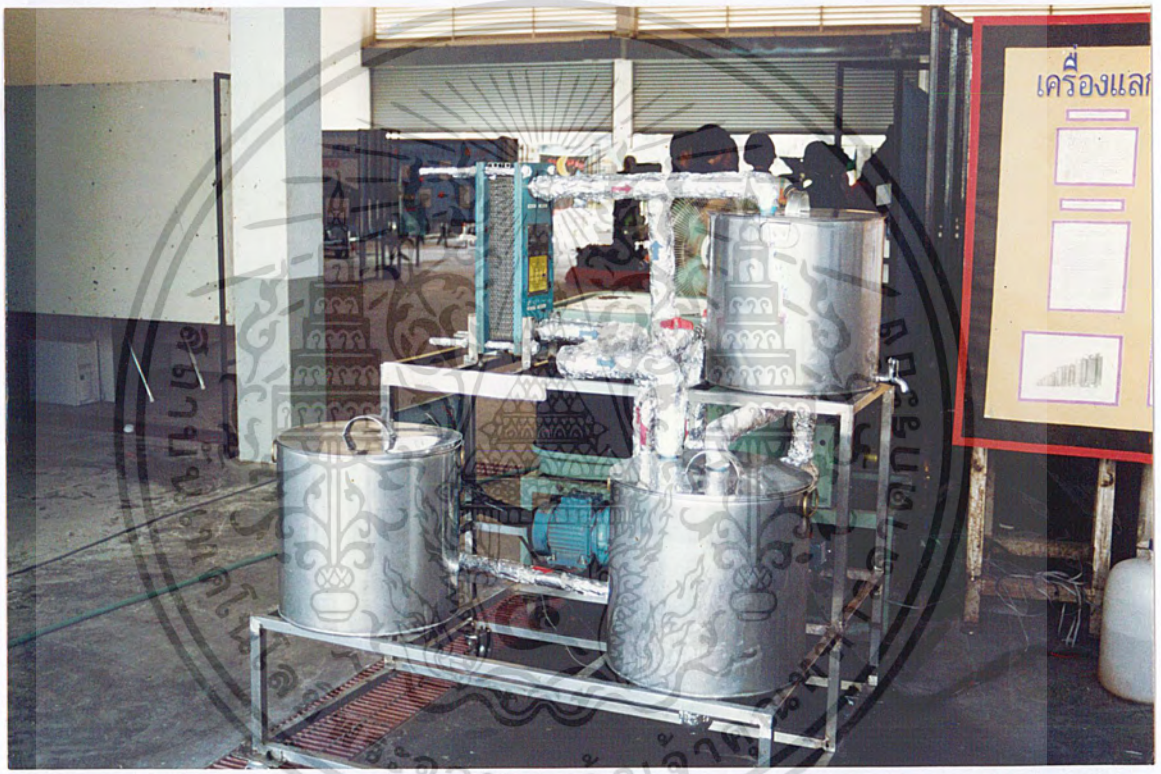
ตารางภาคผนวก ก. 5 แสดงค่าความต้านทานเฟาลิ่ง

ของเหลว	ความต้านทานเฟาลิ่ง, Rf $(kW/m^2K)^{-1} \times 10^3$
Fuel	0.9
Transformer	0.2
Vegetable oil	0.5
Ligh gas oil	0.35
Heavy gas oil	0.5
Asphalt	0.9
Gasoline	0.2
Kerosene	0.2
Caustic solutions	0.35
Refrigerant liquids	0.2
Hydraulic fluid	0.2
Molten salts	0.1
Engine exhaust gas	1.8
Steam(non-oil-bearing)	0.1
Steam(oil-bearing)	0.2
Refrigerant vapors(oil-bearing)	0.35
Compressed air	0.35
Acid gas	0.2
Solvent vapors	0.2
Sea water	0.1-0.2
Brackish water	0.2-0.5
Cooling tower(treated)	0.2-0.35
Cooling tower(untreated)	0.5-0.9
River water	0.2-0.7
Distilled or closed-cycle condense water	0.1

ที่มา : Mills (1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.



รูป ข.1 แสดงชุดจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นในอุตสาหกรรมอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการเรื่อง “เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นในอุตสาหกรรมอาหาร”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นในอุตสาหกรรมอาหาร

Plate Heat Exchanger In Food Industry

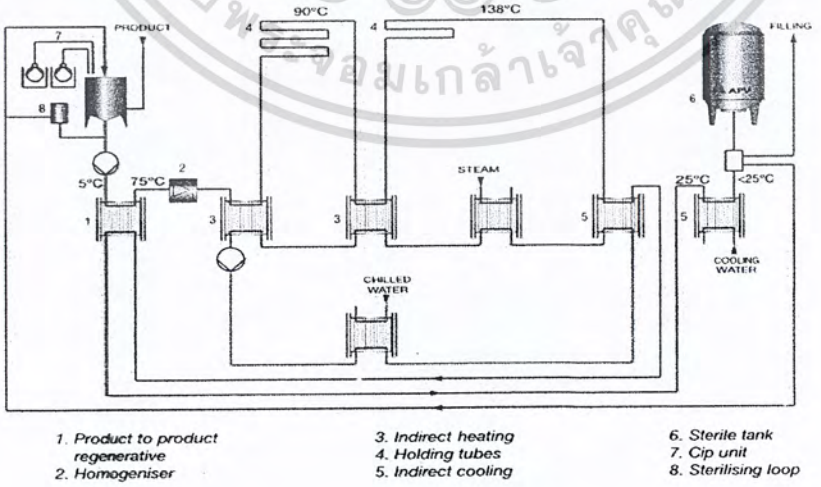
พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ นาขวัญ สายเสน บงกชธรรม พบหิรัญโสภณ และ วารีรัตน์ ทรงคำ

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทนำ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของเหลวให้ถึงอุณหภูมิที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วเป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญในการแปรรูปอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมอาหารเหลวที่มีความหนืดไม่มากนัก เช่นนม น้ำผลไม้ เบียร์ ไวน์และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปซึ่งต้องการกำลังผลิตปริมาณมากและต่อเนื่อง วัตถุประสงค์หลักของการนำแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้ในอุตสาหกรรมประเภทนี้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงจุดที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค เช่นในขั้นตอนของกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์หรือสเตอริไรซ์ (รูปที่1) และทำให้เย็นลง ขั้นตอนดังกล่าวจึงต้องควบคุมรักษาความสะอาดอย่างเคร่งครัด เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นช่วยให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงสามารถลดการสูญเสียคุณภาพทางอาหาร เช่น คุณค่าทางโภชนาการตลอดจนกลิ่นรสของอาหารที่มักจะลดลงเนื่องจากถูกทำลายด้วยความร้อน นอกจากนี้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นยังสามารถประยุกต์มาใช้ในกระบวนการอื่นๆได้ เช่น ใช้กับเครื่องระเหยเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น



รูปที่ 1 ขั้นตอนต่างๆของกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์และสเตอริไรซ์

ที่มา : บริษัท APV (ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

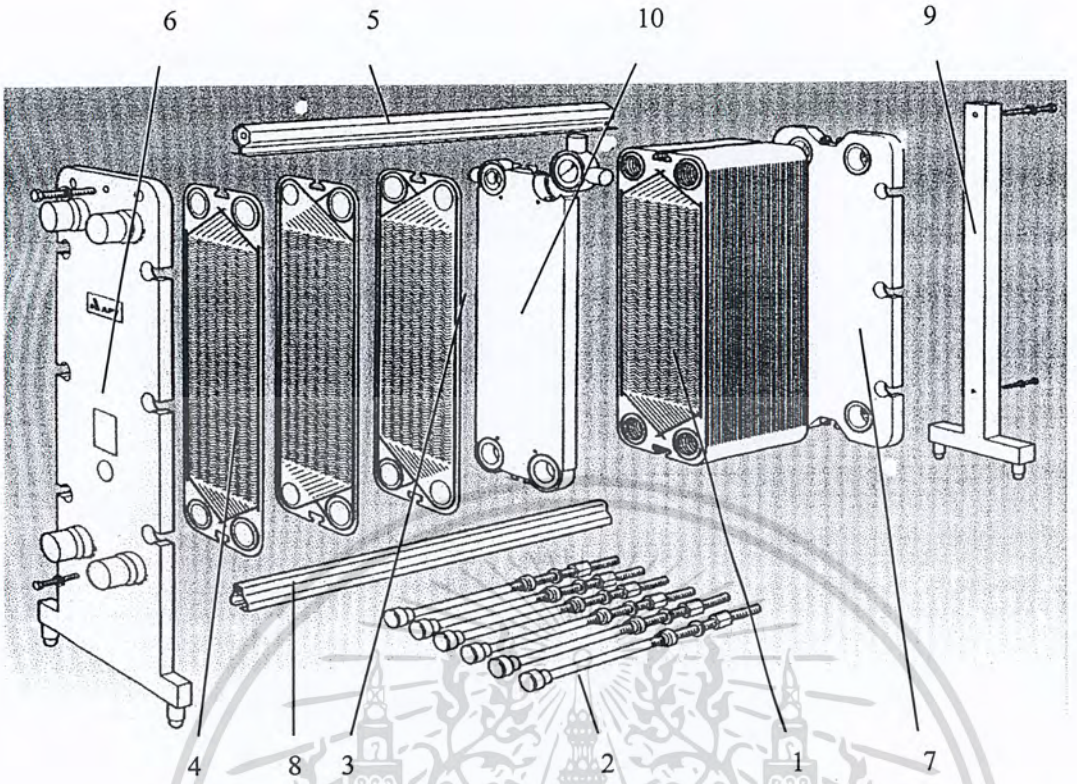
ส่วนประกอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นแสดงไว้(ดังรูปที่2)ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่

- **แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (Plate)** เป็นแผ่นโลหะบางขึ้นรูปเป็นลอน ลูกฟูก รอยหยัก ทำหน้าที่เป็นตัวกลางส่งถ่ายความร้อนของของเหลว 2 ชนิด แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทำจากสเตนเลส ไททาเนียม มีรูปแบบและขนาดตั้งแต่เล็กถึงใหญ่ (รูปที่ 3) โดยต่อกันเป็นชุด จำนวนแผ่นที่ใช้ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิต
- **โครง (Frame)** ประกอบด้วยโครงหน้า โครงอัด โครงระหว่างกลาง คานแขวนบน คานรับล่าง และ ขาตั้งหลัง ทำหน้าที่ยึดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนให้ติดกัน วัสดุที่ใช้ ได้แก่ โลหะไร้สนิมหรือโลหะเคลือบด้วยสีป้องกันสนิม
- **สลักยึด (Tightening Bolts)** เพื่อยึดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนให้ติดกับโครงนิยมทำจากโลหะไร้สนิม
- **ปะเก็น (Gasket)** ยึดอยู่รอบแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อป้องกันไม่ให้ของเหลวทั้ง 2 ชนิดรั่วไหลและป้องกันของเหลวรั่วสู่ภายนอกทั้งยังทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของของเหลวได้ วัสดุที่ใช้ทำปะเก็นเพื่อยึดอยู่รอบแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ เช่น Nitrile Std-Paracril ใช้กับน้ำและอาหารเหลวที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบ EPDMใช้กับสารเคมีและไอน้ำโดยที่ต้องไม่ใช้กับอาหารเหลวที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบ และ FPM-Fluorelastomers ใช้กับน้ำมันพืชที่อุณหภูมิสูง

หลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

ของเหลวที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกปั๊มให้ไหลผ่านไปตามรูที่เจาะไว้บนมุมทั้งสี่ของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่รูทั้งสี่แบ่งออกเป็นสองชนิดคือสองรูแรกจะเป็นทางให้ของเหลวร้อนไหลผ่าน ส่วนอีกสองรูจะเป็นทางให้ของเหลวเย็นไหลผ่าน เมื่อของเหลวร้อนไหลผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดการส่งถ่ายความร้อนจากของเหลวร้อนไปยังแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งจะเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนไปให้ของเหลวเย็นอีกทอดหนึ่งและเนื่องจากที่พื้นผิวหน้าของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละแผ่นมีลักษณะต่างกัน เช่น ลอน ลูกฟูก รอยหยักดังนั้นจึงเป็นประโยชน์ในการควบคุมการไหลของของเหลวให้ไหลผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ทั้งหมดและเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของการถ่ายเทความร้อนทำให้อนุภาคของของเหลวได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง

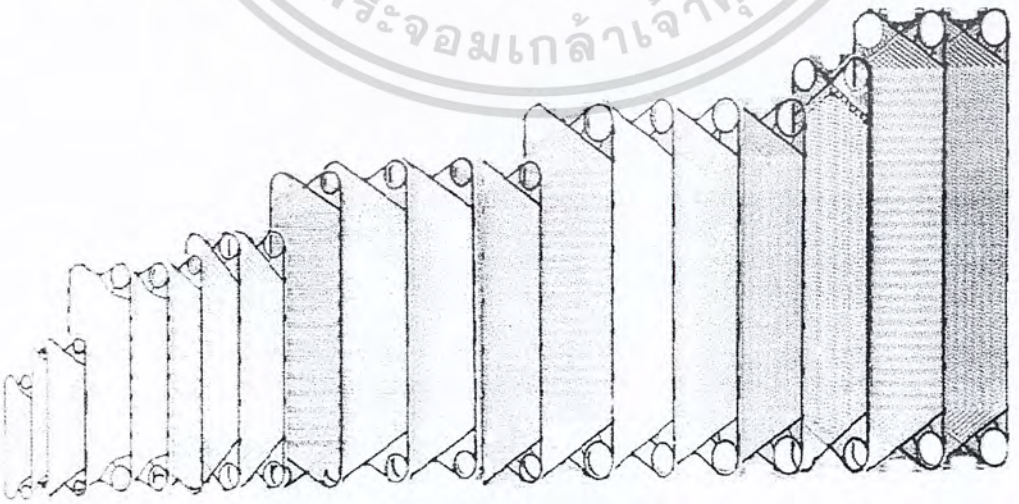
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

ที่มา : บริษัท APV (ประเทศไทย) จำกัด

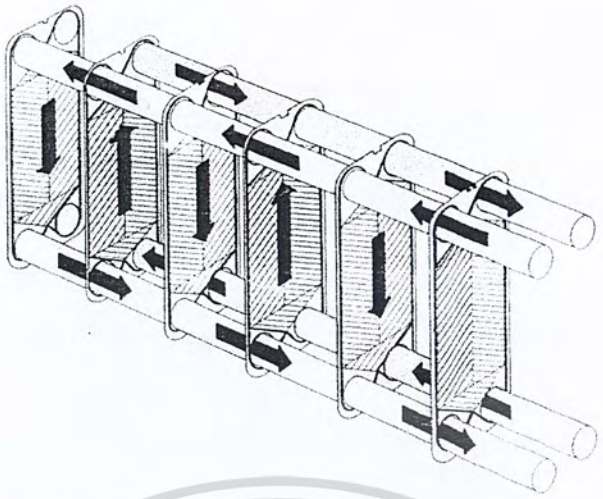
1. ชุดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน
2. สลักยึด
3. ปะเก็น
4. แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนสุดท้าย
5. คานแขวนบน
6. โครงหน้า
7. โครงอัด
8. คานรับล่าง
9. ขาตั้งหลัง
10. โครงระหว่างกลาง



รูปที่ 3 รูปแบบแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ที่มา : บริษัท APV (ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 หลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

ที่มา : (Butterworth D.1977)

การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบอื่น

อุตสาหกรรมอาหารมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลายชนิดแต่ละชนิดก็จะเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารต่างกัน เช่น หากพิจารณาคุณสมบัติด้านความหนืดของของเหลวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ (Tubular Heat Exchanger) เหมาะกับของเหลวที่มีความหนืดต่ำแต่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิว(Scraped Surface Heat Exchanger) เหมาะกับของเหลวที่มีความหนืดระดับกลางถึงสูง หากพิจารณาถึงขนาดของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอาหาร เช่น ซุปที่มีเศษชิ้นของผัก เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นเหมาะกับของเหลวที่มีขนาดอนุภาคในของเหลวน้อยกว่า 0.3 cm และจะยิ่งดีถ้าไม่มีอนุภาคอยู่ในของเหลวแต่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิวใช้ได้กับทั้งของเหลวที่มีอนุภาคหรือไม่มีอนุภาคก็ได้และถ้าคำนึงถึงในด้านการปรับปรุงเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นสามารถปรับปรุงได้ง่ายเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงการใช้งานโดยการเพิ่มหรือถอดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนออกแต่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิวไม่สามารถที่จะทำได้ โดยที่รายละเอียดในการเปรียบเทียบการเลือกใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดต่างๆและตัวอย่างของผลิตภัณฑ์อาหารที่เหมาะกับเครื่องแลกเปลี่ยนชนิดนั้นๆได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบการเลือกใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ

	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิว
ความหนืดของของเหลว	ความหนืดต่ำ	ความหนืดต่ำ	ความหนืดระดับกลางถึงสูง
ขนาดของอนุภาคในของเหลว	ขนาดของอนุภาคควรน้อยกว่า 0.3 cm หรือไม่ควรมีอนุภาคในของเหลวเลย	มีอนุภาคในของเหลวได้	ขนาดของอนุภาคขึ้นกับช่องว่างของใบมีดกับแกนกลางของกระบอก
อุณหภูมิของของเหลว	ใช้ได้ดีกับของเหลวอุณหภูมิน้อยกว่า 150°C	ใช้ได้ดีกับของเหลวที่อุณหภูมิสูงถึง 285°C	ใช้ได้ดีกับของเหลวในช่วงอุณหภูมิระหว่าง –35 ถึง 190°C
การปรับปรุงเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงการใช้งาน	ง่ายต่อการเพิ่มหรือลดจำนวนแผ่น	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหาร	น้ำ,นม,ชา,กาแฟ, นมถั่วเหลือง,ครีม, น้ำผลไม้ที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า0.3 cm หรือไม่มีอนุภาคเลย	ครีมรวม,ชา,กาแฟ ไอศกรีมผสม, น้ำผลไม้ที่มีอนุภาคทุกขนาดหรือไม่มีอนุภาคเลย	อาหารเด็กอ่อน, เนยถั่ว,ไอศกรีม, โยเกิร์ต,เนื้อผลไม้เข้มข้น,โปรตีนเวย์เข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณเพื่อการออกแบบและหาจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

จากสมมติฐาน

- สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(U) มีค่าคงที่ตลอดระยะทางการไหล
- ความร้อนจำเพาะ(Cp)ของของเหลวมีค่าคงที่ตลอดระยะทางการไหล
- ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของของเหลวเกิดขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น
- ไม่คิดความร้อนสูญเสียออกจากระบบ

จะได้ (q_1) ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างของเหลวสองชนิด เท่ากับ (q_2) ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

โดยที่ $q_1 = \dot{m}Cp\Delta T$ ...(1)

และ $q_2 = UA\Delta T_{lm}$ ...(2)

จากสมมติฐานจะได้ $q_1 = q_2$

$$\dot{m}Cp\Delta T = UA\Delta T_{lm} \quad ...(3)$$

ดังนั้นพื้นที่ทั้งหมดที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนคือ

$$A = \frac{\dot{m}Cp\Delta T}{U\Delta T_{lm}} \quad ...(4)$$

โดยที่ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (Kg/s) หาได้จากสมการ

$$\dot{m} = \rho Q \quad ...(5)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (Kg/m^3)

Q คือ อัตราการไหลของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (m^3/s)

Cp คือ ความร้อนจำเพาะของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (J/Kg.°C)

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็นก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (°C)

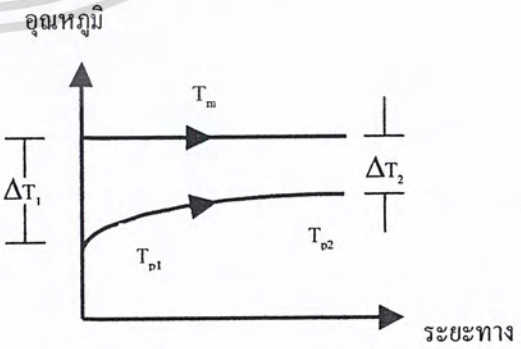
ΔT_{lm} คือ ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอกการิทึ่มของของเหลวทั้งสองชนิด (°C)

การคำนวณหาค่าผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอกการิทึ่ม(ΔT_{lm})แบ่งพิจารณาเป็น 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1 การไหลระหว่างตัวกลางสองชนิดโดยที่ตัวกลางหนึ่งมีอุณหภูมิคงที่ตลอดแต่ตัวกลางอีกชนิดหนึ่งอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

การไหลแบบนี้อุณหภูมิของตัวกลางชนิดหนึ่งจะมีค่าคงที่ตลอด ขณะที่อุณหภูมิของตัวกลางอีกชนิดหนึ่งจะเพิ่มขึ้น ตัวอย่างสภาพดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อมีการควบแน่นของไอน้ำ

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln[\Delta T_1/\Delta T_2]} = \frac{(T_m - T_{p1}) - (T_m - T_{p2})}{\ln[(T_m - T_{p1})/(T_m - T_{p2})]} \quad ...(6)$$



รูปที่ 5 การไหลของตัวกลางที่มีอุณหภูมิคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

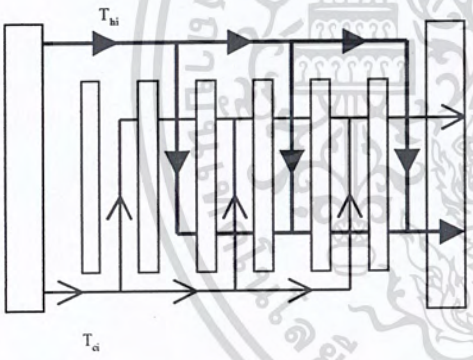
กรณีที่ 2 การไหลระหว่างของเหลวสองชนิด โดยที่ของเหลวทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบ่งเป็น 2 แบบคือ

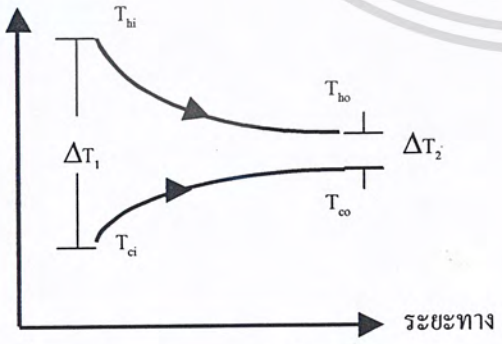
- แบบที่ 1 ของเหลวไหลตามกัน

(Co-Current Flow)

เริ่มแรกความแตกต่างของอุณหภูมิมีค่ามาก และจะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นข้อสำคัญสำหรับการไหลประเภทนี้คืออุณหภูมิที่ทางออกของของเหลวเย็นจะต้องน้อยกว่าอุณหภูมิที่ทางออกของของเหลวร้อนเสมอ

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln[\Delta T_1/\Delta T_2]} = \frac{(T_{hi}-T_{ci})-(T_{ho}-T_{co})}{\ln[(T_{hi}-T_{ci})/(T_{ho}-T_{co})]} \quad \ldots(7)$$





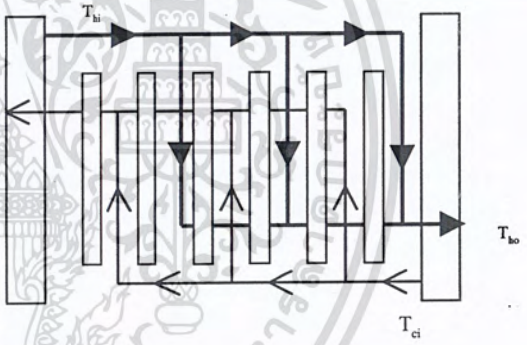
รูปที่ 6 การไหลแบบตามกันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

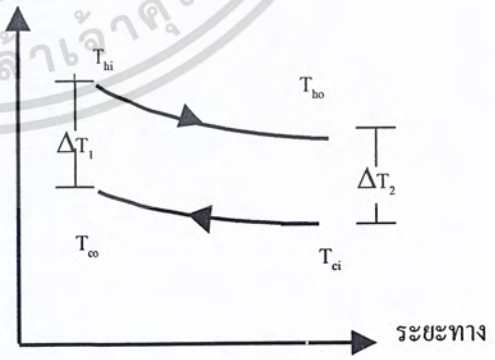
- แบบที่ 2 ของเหลวไหลสวนทางกัน

(Counter-Current Flow)

การไหลแบบนี้ต่างจากการไหลแบบตามกันโดยที่ด้านร้อนกว่าของของเหลวทั้งสองอยู่ที่ปลายเดียวกันและด้านเย็นกว่าของของเหลวทั้งสองอยู่ที่ปลายเดียวกันเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ระยะทางใดๆ จึงมีค่าสูงไม่เท่ากับทางเข้าของการไหลแบบตามกัน

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln[\Delta T_1/\Delta T_2]} = \frac{(T_{hi}-T_{co})-(T_{ho}-T_{ci})}{\ln[(T_{hi}-T_{co})/(T_{ho}-T_{ci})]} \quad \ldots(8)$$





รูปที่ 7 การไหลแบบสวนทางกันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient;U)

การถ่ายเทความร้อนรวมแสดงได้ชัดเจนในรูปที่ 8 โดยของเหลวร้อนจะถูกกั้นโดยผนังโลหะออกจากของเหลวเย็น จะมีการถ่ายเทความร้อนจากของเหลวร้อนไปสู่ของเหลวเย็นโดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกี่ยวข้องคือ การพาความร้อนจากของเหลวร้อนไปสู่คราบตะกรันด้านที่ 1 การนำความร้อนผ่านชั้นของคราบตะกรันด้านที่ 1 การนำความร้อนผ่านผนังแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน การนำความร้อนผ่านชั้นของคราบตะกรันด้านที่ 2 และการพาความร้อนจากชั้นของคราบตะกรันด้านที่ 2 ไปสู่ของเหลวเย็นดังนั้นถ้าคราบตะกรันมีการจับตัวกันหนามากขึ้นแล้วมีผลทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลงความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้น ระบบจะสูญเสียพลังงานมากในการถ่ายเทความร้อนจากของเหลวร้อนไปสู่ของเหลวเย็น การแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมดแสดงได้ตามสมการ

$$1/U = 1/h_1+1/h_2+x_m/k_m+R_f \quad \ldots(9)$$

เมื่อ U คือ สัมประสิทธ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด ($W/m^2.^\circ C$)

h_1และh_2 คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของเหลวร้อนและเย็นตามลำดับ ($W/m^2.^\circ C$)

x_m คือ ความหนาของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (m)

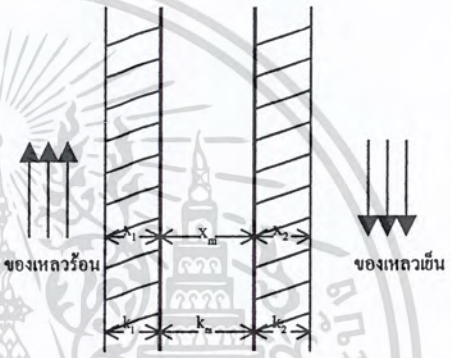
k_m คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน ($W/m.^\circ C$)

R_fคือ ค่าความต้านทานของคราบตะกรันทั้งสองด้านของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน ($m^2.^\circ C/W$) มีค่าเท่ากับ

$$R_f = x_1/k_1+ x_2/k_2 \quad \ldots(10)$$

เมื่อ x_1และ x_2คือ ความหนาของคราบตะกรันด้านของเหลวร้อนและของเหลวเย็นตามลำดับ (m)

k_1และ k_2คือ ค่าการนำความร้อนของคราบตะกรันด้านของเหลวร้อนและของเหลวเย็นตามลำดับ($W/m.^\circ C$)



รูปที่ 8 การถ่ายเทความร้อนของของเหลวผ่านชั้นของคราบตะกรันและแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน(Heat Transfer Coefficient; h)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของการไหล ความเร็วของของเหลว รูปทรงของวัตถุ พื้นที่ที่ของเหลวไหลผ่าน คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของของเหลว อุณหภูมิเฉลี่ย และตำแหน่งต่างๆตามพื้นผิวของวัตถุ การแสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะแสดงได้ตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h = \frac{Nuk}{D} \quad \ldots(11)$$

เมื่อ Nu คือ Nusselt Number

k คือ ค่าการนำความร้อนของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (W/m.°C)

D คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (m)

จากสมการ(10) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน(h) จะขึ้นอยู่กับ Nusselt Number (Nu) ค่าการนำความร้อนของของเหลว(k) และระยะห่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (D) โดยที่ค่าการนำความร้อนของของเหลวเป็นค่าเฉพาะของของเหลวชนิดนั้นๆ เช่นเดียวกับระยะห่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งจะเป็นค่าเฉพาะของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ ดังนั้น Nusselt Number (Nu) จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญของสมการนี้ โดยที่ Nusselt Number (Nu) หาได้จากสมการ

$$Nu = C(Re)^m(Pr)^n \quad \ldots(12)$$

- Re คือ Reynold Number มีค่าเท่ากับ

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \quad \ldots(13)$$

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็นตามลำดับ (Kg/m^3)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็นในช่องว่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (m/s)

D คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (m)

μ คือ ความหนืดของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (Pa.s)

- Pr คือ Prandtl Number มีค่าเท่ากับ

$$Pr = \frac{Cp\mu}{k} \quad \ldots(14)$$

Cp คือ ความร้อนจำเพาะของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (J/Kg°C)

μ คือ ความหนืดของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (Pa.s)

k คือ ค่าการนำความร้อนของของเหลวร้อนหรือของเหลวเย็น (W/m.°C)

- C,mและnเป็นค่าคงที่สำหรับสภาวะการไหลแบบใดๆ ซึ่งหาได้จากการทดลอง สำหรับชนิดของการไหลแบ่งได้เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Larminar Flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ซึ่งของเหลวที่ไหลผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกควบคุมให้ไหลแบบปั่นป่วนทั้งหมด เนื่องจากผิวหน้าของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีลักษณะเป็นลอน ลูกฟูกหรือรอยหยัก ดังนั้นCooper (1974) ได้เสนอสมการNusselt Number ของของเหลวที่ไหลแบบปั่นป่วนผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนคือ

$$Nu = 0.28(Re)^{0.65}(Pr)^{0.4} \quad \ldots(15)$$

เมื่อรู้ค่าพื้นที่ทั้งหมดที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน A ก็สามารถที่จะหาจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนได้ โดยถ้าแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนหนึ่งแผ่นมีพื้นที่ เท่ากับ a ดังนั้นจำนวนแผ่นที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน คือ **จำนวนแผ่นที่ต้องการ = A/a**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบำรุงรักษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

เมื่อนำแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายความร้อนจากของเหลวที่หนึ่งไปยังของเหลวอีกชนิดหนึ่ง และเมื่อเวลาผ่านไปของเหลวทั้งสองชนิดที่ไหลผ่านพื้นผิวหน้าของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนจะจับตัวกันเป็นคราบตะกรัน (Fouling) ซึ่งเมื่อเกิดแล้วมีผลทำให้เกิดความสิ้นเปลืองพลังงานของปั๊มในการจ่ายของเหลวมาแลกเปลี่ยนความร้อนกัน ดังนั้นเมื่อเกิดการจับตัวของคราบตะกรันก็ควรที่จะทำความสะอาดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งอาจทำได้โดยการถอดมาล้างทีละแผ่นโดยล้างด้วยมือหรือล้างโดยใช้ระบบ Clean In Place (CIP)

บทสรุป

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นได้นำมาใช้ประโยชน์โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหารเหลวที่มีอนุภาคน้อยกว่า 0.3cm หรือไม่มีอนุภาคเลย และความง่ายในการปรับปรุงการทำงานเพียงแต่เพิ่มหรือถอดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนออก จึงเป็นข้อสนับสนุนที่ดีที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นได้รับความนิยมอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของของเหลวที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกัน เช่น อัตราการไหล อุณหภูมิขาเข้า และขาออกของของเหลว ความดันขณะปฏิบัติงานในการถ่ายเทความร้อนระหว่างกันของของเหลว

บรรณานุกรม

HOLDSWORTH S.D. 1992. “Aseptic Processing And Packaging of Food Products” Elsevier Applied Food Science Series.

Signh R. Paul and Dennis R. Heldman. 1984. “Introduction to Food Engineering” Acedemic Press. 131-134 p.

Butterworth D.1977. “Introduction to Heat Transfer” Oxford University Press. 22p.

Manual For GEA AHLBORN “Plate Heat Exchangers” Book1.

เอกสารของบริษัทAPV (ประเทศไทย) จำกัด. “ เรื่อง UHT Processes Indirect Plate Steriliser.”

“ เรื่อง The Advantages of APV Plate Heat Exchanger in food and drink processing.”

“ เรื่อง Heat Exchangers Products, processes and applications.”

ญาณวุฒิ สุพิชญางกูร. 1998. “เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นสำหรับงานอุตสาหกรรม” วารสารวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ประยุกต์มหาวิทยาลัยรังสิต. หน้า 29-31.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พงษ์เจต พรหมวงศ์ .2534. “การถ่ายเทความร้อน” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 230-233.

พงษ์ธร จรัญญากรณ์ .2542. “อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในงานอุตสาหกรรม” บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด กรุงเทพ. หน้า 358.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ด้วยความอนุเคราะห์ของทุกคน โครงงานนี้จึงสำเร็จลงได้ด้วยดี ขอขอบคุณ

- ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา สำหรับทุกคำปรึกษาในทุกๆเรื่อง
- คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่าน สำหรับคำติชม
- คุณดิเรกฤทธิ์ เล็กสกุล คุณอุทุมพร ขำละเอียด และพี่ๆพนักงานบริษัท APV (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องข้อมูล และเอกสารประกอบความรู้ต่างๆ
- คุณราชัน เลิศทองไทย คุณทศพล ลือชาพัฒนพร บริษัทอัลฟา-ลาวาล (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องข้อมูล และเอกสารประกอบความรู้ต่างๆ
- คุณศิวพร รุ่งเรืองวรวัฒน์ และพี่ๆบริษัทพัฒน์กล จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องข้อมูล และเอกสารประกอบความรู้ต่างๆ
- เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆเรื่อง
- ชัยวัฒน์ วัฒนาโภคยกิจ และ อรรคเดช บุญภิละ สำหรับความช่วยเหลือในการสร้างชุดจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกๆคนสำหรับคำปรึกษา และกำลังใจที่มีให้เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ญาณวุฒิ สุพิชญางกูร, " เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นสำหรับงานอุตสาหกรรม" , วารสารวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ประยุกต์มหาวิทยาลัยรังสิต, Vol.2 No.1,1998, หน้า 29-31.
2. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ ,พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์,สาทิป รัตนภาสกร, " สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ",สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า231-240, 2538.
3. ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, "หลักการแปรรูปนม" , ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 3-30, 2524.
4. พงษ์ธร จรัญญากรณ์, " อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับงานอุตสาหกรรม", เอ็มแอนด์อี,358 หน้า,2542.
5. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, " อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน" ,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ,หน้า 68-69, 2526.
6. อรวินท์ เลาหรัชตนันท์ และคณะ, " การถนอมอาหารและการแปรรูปอาหาร" , มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช,หน้า106-130 , 2539.
7. เอกสารของบริษัท Alfa Laval " เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น".
8. เอกสารของบริษัท APV.
9. Bejan Adrian, " Heat Tranfer",John Wiley&Sons, P 335,1993.
10. F.Morrissey Robert and G. Briggs Phillips, " Sterilization Technology",New York,P127,1992.
11. Holdsworth S.D, " Aseptic Processing And Packaging Of Food Products",428 P,1992.
12. Mills A.F., " Basic Heat and Mass Transfer",Prentice Hall,662 P,1999.
13. Jairus R.D.David , Ralph H.Graves and V.R.Carlson, " Aseptic Processing and Packaging of Food",257 P,1985.
14. Saunders E.A.D, " Heat Exchangers Selection Design and Constrction" ,P 104-115,1993.
15. Signh R.Paul and Dennis R. Heldman, " Introduction to Food Engineering",Acedemic Press,P 283,1984.
16. Maguer, M.L. and Jelen, P., "Food Engineering and process Application Vol.1 Transport Phenomena" , Elsevier Applied Science Publisher LTD.,1986.
17. http:/www.hvac.alfalaval.com/defau

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้