รายงานปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรื่อง

"การประเมินปริมาณการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต"

(Steam Consumption)

จัดทำโดย

นาย นรายุทธ ทิพย์โพธิ์

รหัสประจำตัว B4252276

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 503 481 สหกิจศึกษา

สาขาเทคโนโลยีอาหาร

สำนักเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วันที่ 20 ธันวาคม 2545

รายงานปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรื่อง

“การประเมินปริมาณการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต”

(Steam Consumption)

จัดทำโดย

นาย นรายุทธ ทิพย์โพธิ์

รหัสประจำตัว B4252276

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปฏิบัติงาน ณ

บริษัทฟู้ดแอนด์ดริ๊งส์ จำกัด (มหาชน)

695/1 ถ.บ้านบึง-บ้านค่าย ต.คลองกิ่ว อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี 20220

วันที่ 20 ธันวาคม 2545

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา สาขาเทคโนโลยีอาหาร อาจารย์ ดร.จิรวัฒน์ ยงค์สวัสดิกุล

ตามที่ข้าพเจ้า นายนรายุทธ ทิพย์โพธิ์ นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้ไปปฏิบัติงานสหกิจศึกษาในระหว่างวันที่ 2 กันยายน 2545 ถึง วันที่ 20 ธันวาคม 2545 ในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิชาการอาหาร ในบริษัทฟู้ดแอนด์ดริ้งส์ จำกัด (มหาชน) และได้รับมอบหมายจาก Job Supervisor ให้ศึกษาและทำรายงาน เรื่อง การประเมินปริมารการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต (Steam Consumption)

บัดนี้ การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้สิ้นสุดลงแล้ว ข้าพเจ้าจึงขอส่งรายงานดังกล่าวมาพร้อมนี้ จำนวน 1 เล่ม เพื่อขอรับคำปรึกษาใหม่

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

นรายุทธ ทิพย์โพธิ์

(นาย นรายุทธ ทิพย์โพธิ์)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgment)

การที่ข้าพเจ้าได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท ฟู้ดแอนด์ดริ๊งส์ จำกัด (มหาชน) ตั้งแต่วันที่ 2 กันยายน 2545 ถึงวันที่ 20 ธันวาคม 2545 ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้ และประสบการณ์ต่างที่มีค่ามากมาย สำหรับการทำรายงานการประเมินปริมารการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่ายดังนี้

1. ดร. นคร มหาคุณ ผู้จัดการ โรงงาน บริษัท ฟู้ดแอนด์ดริ๊งส์ จำกัด (มหาชน) ที่เห็นความสำคัญของระบบการศึกษาแบบสหกิจศึกษา และได้ให้โอกาสที่มีค่ายิ่งต่อข้าพเจ้า

2. คุณ วิกรม อาจรักษา หัวหน้าแผนกผลิตผักและผลไม้ และเป็น Co-op Supervisor ที่กรุณาให้แนวคิดในการศึกษา การดำเนินงาน ให้คำปรึกษาและสนับสนุนให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสทำการศึกษาจนสำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี

3. คุณ มาโนช เนียมจันทร์ หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง ที่กรุณาสละเวลาในการค้นหาข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการทำรายงานจนสำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี

3. คุณ วิทยา บุญนอก Supervisor ประจำแผนกผลิตผักและผลไม้

4. คุณ กิตติ โจทย์กิ่ง Supervisor ประจำแผนกผลิตผักและผลไม้

5. คุณ สุรศักดิ์ ศรีวิพันธ์ Supervisor ประจำแผนกผลิตผักและผลไม้

6. คุณ สมพงษ์ พหลโยธิน Supervisor ประจำแผนกผลิตผักและผลไม้

7. คุณ ปิยวดี สวยกระโทก เจ้าหน้าที่ข้อมูล

8. คุณ วันเพ็ญ ศรีพัฒนพงษ์ เจ้าหน้าที่ข้อมูล

รวมทั้งบุคลากรท่านอื่นๆและพนักงานของทางบริษัท ที่มิได้กล่าวนามทุกท่านที่ช่วยให้ข้อมูล คำแนะนำ และช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล และขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. จิรวัฒน์ ยงค์สวัสดิกุล ที่กรุณาชี้แนะแนวทางในการศึกษาและการดำเนินงานในครั้งนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ที่ให้การสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการเก็บข้อมูล เป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแลและช่วยให้ข้าพเจ้าได้เข้าใจเกี่ยวกับชีวิตในการทำงานจริง ข้าพเจ้าขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

นาย นรายุทธ ทิพย์โพธิ์

ผู้จัดทำรายงาน

20 ธันวาคม 2545

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำนำ

รายงานฉบับนี้ เป็นรายงานการปฏิบัติงานในสถานประกอบการ ฟู้ดแอนด์ดริ้งส์ จำกัด (มหาชน) และได้รับมอบหมายจาก Job Supervisor ให้ทำการศึกษาและทำรายงาน เรื่อง การประเมินปริมาณการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต (Steam Consumption) จากการศึกษาและปฏิบัติงานจริงได้นำมาเรียบเรียงเป็นรายงาน

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงายฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อท่านผู้อ่านที่มีความสนใจ และ หากรายงานฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำพร้อมรับคำติชมด้วยความเต็มใจอย่างยิ่ง และต้องขออภัยล่วงหน้าไว้ ณ โอกาสนี้

นาย นรายุทธ ทิพย์โพธิ์

ผู้จัดทำรายงาน

20 ธันวาคม 2545

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

การศึกษาและการประเมินปริมาณการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบทั้งหมด 7 ผลิตภัณฑ์ นับว่าเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากไอน้ำถือเป็นต้นทุนโดยตรงต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งการผลิตไอน้ำและการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดย่อมเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุนี้จากการศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต พบว่า ไอน้ำ (Steam) ที่ใช้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน เท่ากับ 97.86% ทั้งนี้การสูญเสียที่เกิดขึ้นคิดจากการสูญเสียจากรูรั่วและท่อไอน้ำที่ไม่ได้หุ้มฉนวนเป็นสำคัญ สำหรับการประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบ 7 ผลิตภัณฑ์จะทำการประเมินโดยใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัสดุไม่มีการเปลี่ยนสถานะ และสมการการหาปริมาณไอน้ำที่สูญเสียเนื่องจากรูรั่ว จากการศึกษาพบว่า ในกระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700 มีการใช้ปริมาณไอน้ำมากที่สุด เท่ากับ 10,580.52 kg steam/batch รองมาเป็นผลิตภัณฑ์แครอทในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 603x700 ,ว่านหางจระเข้ในน้ำเปล่า บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700 , ถั่วงอกในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308 , มะละกอในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 300 x 407 , เครื่องดื่มชาจีนอูลอง บรรจุกระป๋องขนาดบรรจุ 250 cm^3 , น้ำและเนื้อเสาวรส บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308 โดยมีค่าเท่ากับ 5,270.74 , 4,041.76 , 2,911.86 , 2,662.4 , 2,619.98 และ 563.07 kg steam / batch ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
จดหมายนำส่ง	
กิตติกรรมประกาศ	
คำนำ	
บทคัดย่อ	
สารบัญ	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 รายละเอียดและความเป็นมาของบริษัท	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไอน้ำ	5
2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีการใช้ไอน้ำ	9
บทที่ 3 รายละเอียดของงานที่ปฏิบัติ	
3.1 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบ 7 ผลิตภัณฑ์	11
3.2 การศึกษาและการดำเนินการเก็บข้อมูล	14
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	15
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	16
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	18
บทที่ 6 ปัญหา และข้อเสนอแนะ	19
บรรณานุกรม	20
ภาคผนวก	
ก. ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินงาน	21
ข. วิธีการคำนวณ	28
ค. กราฟการหาปริมาณน้ำ Condensate	40
ง. ตาราง	48

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล 15

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต
ผลิตภัณฑ์ต้นแบบทั้ง 7 ผลิตภัณฑ์ 17

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate ของเครื่องดื่มชาจีนอูลอง 22

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate ของว่านหางจระเข้ 23

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate ของข้าวโพดฝักอ่อน 24

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate ของถั่วงอก 25

ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate ของแครอท 26

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate ของมะละกอ 27

ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate ของน้ำและเนื้อเสาวรส 27

ตารางที่ ง.1 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam) 49

ตารางที่ ง.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam) 54

ตารางที่ ง.3 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำและอากาศ (Water and Air) 55

ตารางที่ ง.4 ตารางแสดง Linear specific heat model of food 56

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูป		หน้า
รูปที่ 1	แผนผังแสดงการจัดองค์กรและระบบการบริหาร	3
รูปที่ 2	แสดงผังองค์กร โรงผลิตผักและผลไม้	4
รูปที่ 3	เครื่องลวกแบบใช้ไอน้ำ (Steam Blancher)	9
รูปที่ 4	รางไล่อากาศ (Exhaust Box)	9
รูปที่ 5	หม้อต้มสองชั้น (Kettle)	10
รูปที่ 6	กราฟแสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาจีนอูลอง บรรจุกระป๋องขนาดบรรจุ 250 cm^3	41
รูปที่ 7	กราฟแสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้ในน้ำเปล่า บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700	42
รูปที่ 8	กราฟแสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700	43
รูปที่ 9	กราฟแสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์ถั่วงอกในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308	44
รูปที่ 10	กราฟแสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์แครอทในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700	45
รูปที่ 11	กราฟแสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์มะละกอน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 300 x 407	46
รูปที่ 12	กราฟแสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์น้ำและเนื้อเสาวรส บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308	47

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารมีการแข่งขันที่สูงกว่าในอดีตมาก การที่จะดำเนินธุรกิจให้ดีขึ้นนั้น นอกจากทางบริษัทจะต้องผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีแล้วยังต้องกำหนดราคาขายของผลิตภัณฑ์นั้นให้ต่ำกว่าหรือเทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์ของบริษัทคู่แข่งในธุรกิจประเภทเดียวกันอีกด้วย เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกลายเป็นทางเลือกแรกของกลุ่มผู้บริโภค

ด้วยเหตุนี้ ทางแผนกผลิต ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้บรรจุกระป๋องของบริษัท ฟู้ดแอนด์ดริ๊งส์ จำกัด (มหาชน) จึงเห็นว่าการศึกษาและการดำเนินการเก็บข้อมูลและทำการประเมินปริมาณการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ในแต่ละชนิดเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากไอน้ำนั้นถือเป็นต้นทุนโดยตรงของผลิตภัณฑ์และหากทางบริษัทสามารถทราบและคำนวณหาปริมาณการใช้ไอน้ำในแต่ละกระบวนการผลิตได้อย่างแน่นอนแล้ว ทางบริษัทก็จะสามารถกำหนดแนวทางในการผลิตไอน้ำ , การใช้พลังงานไอน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งทางบริษัทยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณต้นทุนในการผลิต เพื่อใช้ในการลดต้นทุนและส่งผลให้บริษัทมีกำไรเพิ่มมากขึ้นจากการผลิต และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

1.1 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและประเมินปริมาณการการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการผลิตและการขยายงานของทางบริษัทต่อไป
2. ศึกษาและประเมินปริมาณการใช้ไอน้ำของอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

1.2 รายละเอียดและความเป็นมาของบริษัท

- การก่อตั้ง	บริษัท ฟู้ดแอนด์ดริ๊งส์ จำกัด (มหาชน) ก่อตั้งเมื่อวันที่ 11 เมษายน 2528 ทำการผลิตสินค้า ผักและผลไม้กระป๋องเพื่อการส่งออก ณ อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี บนเนื้อที่ 94 ไร่ ซึ่งร่วมทุนระหว่างไทย-ไต้หวัน-ญี่ปุ่น และในปี 2536 ได้จดทะเบียนเป็นบริษัทมหาชน โดยมีทุนจดทะเบียน 125 ล้านบาท ในนาม “F & D”
- ที่ตั้งสำนักงานใหญ่	22 ซ.สุขุมวิท 35 ถ.สุขุมวิท เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร 10110
- ที่ตั้งโรงงาน	695/1 ถ.บ้านบึง-บ้านค่าย ต.คลองกิ่ว อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี 20220 โทรศัพท์ (038) 201219 โทรสาร (038) 201020
- ตลาดเพื่อการส่งออก	ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา สหภาพยุโรป เยอรมัน ฝรั่งเศส อังกฤษ นิวซีแลนด์ ประเทศในแถบเอเชีย ฮ่องกง และสิงคโปร์
- ผลิตภัณฑ์หลัก	ข้าวโพดฝักอ่อน หน่อไม้ ว่านหางจระเข้ แห้ว น้ำผลไม้ ผัก-ผลไม้บรรจุกระป๋อง ผัก-ผลไม้แช่แข็ง เครื่องเทศ เนื้อปรุงรสบรรจุกระป๋อง และผลิตภัณฑ์อื่นๆตามฤดูกาลและความต้องการของตลาดต่างประเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปัจจุบันสายการผลิตของทางบริษัทแบ่งเป็น 4 สาย ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ผัก-ผลไม้
   - ผักและผลไม้บรรจุกระป๋องและขวด ได้แก่ หน่อไม้ ข้าวโพดฝักอ่อน ว่านหางจระเข้ แห้ว เห็ด ถั่วงอก มะม่วง มะละกอ ผลไม้รวมและอื่นๆ
   - น้ำพืชผักและผลไม้ ได้แก่ น้ำมะพร้าว น้ำมะเขือเทศ น้ำแครอท น้ำผลไม้รวม น้ำกะทิ น้ำว่านหางจระเข้ Passion Fruit น้ำมะม่วงหิมพานต์ ผลิตภัณฑ์เวชพงศ์ และเครื่องดื่ม Zummer
2. ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง ได้แก่ กระเจี๊ยบฝักเขียว ถั่วฝักยาว มะเขือเทศม่วง ข้าวโพดฝักอ่อน แครอท คะน้าญี่ปุ่น แตงโม มะม่วง เงาะ ลิ้นจี่ แห้ว ว่านและอื่นๆ
3. ผลิตภัณฑ์เนื้อปรุงรส - ซอสเนื้อ
4. ผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ เครื่องแกง

<u>นโยบายคุณภาพของบริษัท</u>

" มุ่งมั่นพัฒนากระบวนการผลิต เพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้าที่มีคุณภาพ ถูกสุขลักษณะตามมาตรฐานสากล และสร้างความพอใจให้แก่ลูกค้า"

ซึ่งนโยบายดังกล่าวต้องถือปฏิบัติ ดังนี้

1. จัดหาทรัพยากรที่จำเป็นให้ตรงตามเวลา
2. พัฒนาและทบทวนการทำงานอย่างสม่ำเสมอ
3. จัดให้มีระบบการฝึกอบรมเพื่อพัฒนาบุคลากร
4. มีระบบการแก้ไขและป้องกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบงาน
5. ปรับปรุงเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตให้มีความเหมาะสมต่อเนื่อง
6. ปรับปรุงสถานที่ให้ถูกสุขลักษณะตามมาตรฐานสากล
7. แก้ไขปัญหาข้อร้องเรียนของลูกค้าอย่างรวดเร็ว
8. จัดส่งเสริมตรงตามกำหนดของลูกค้า
9. รักษามาตรฐานคุณภาพสินค้าอย่างสม่ำเสมอ
10. พัฒนาปรับปรุงคุณภาพสินค้าอย่างสม่ำเสมอ

ตำแหน่งและลักษณะงานในความรับผิดชอบ (Job description) : ผู้ช่วยนักวิชาการอาหาร

แผนกที่ปฏิบัติงาน : แผนกผลิต ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้

Co-op Supervisor : คุณ วิกรม อาจรักษา

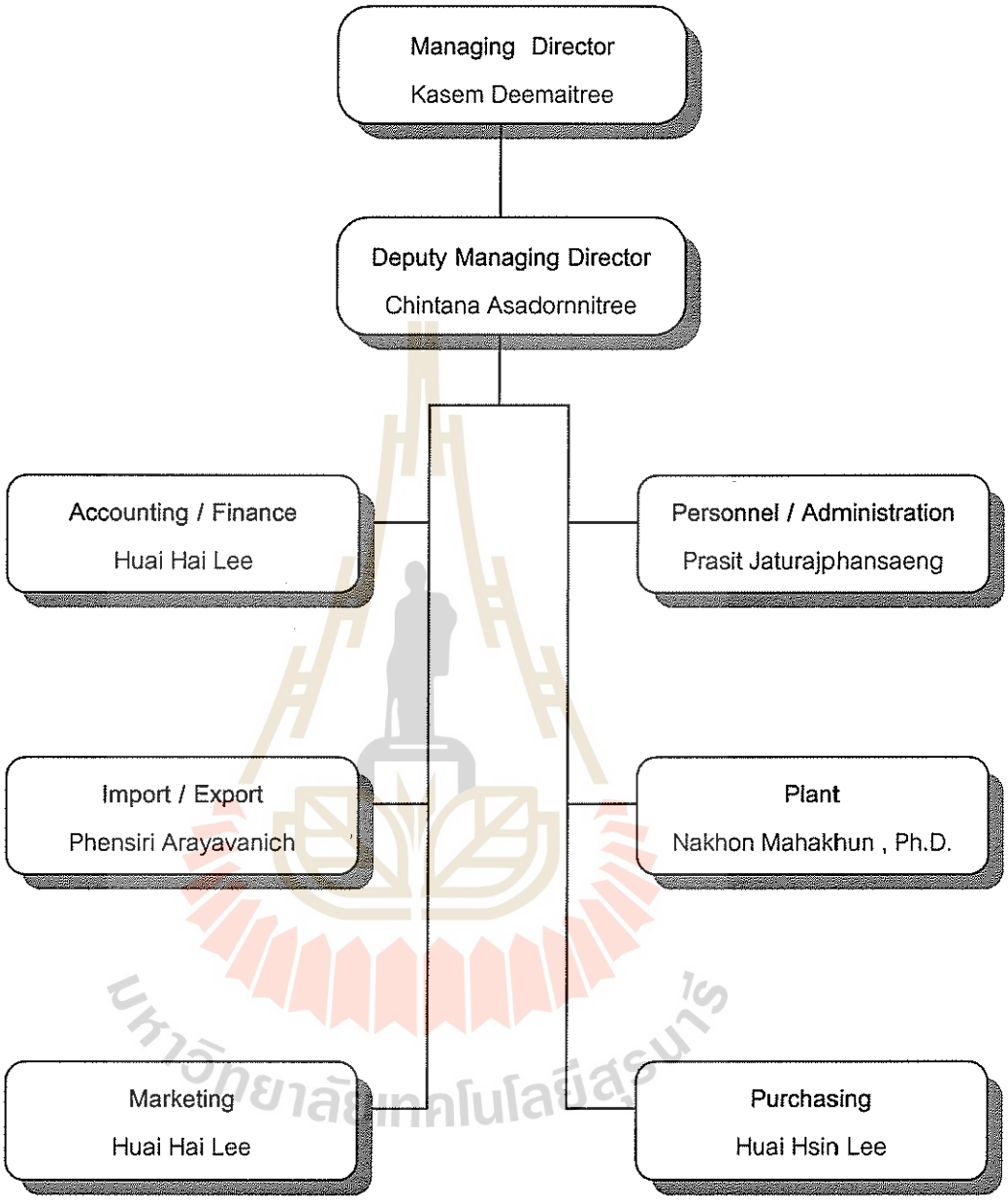
ตำแหน่ง : หัวหน้าแผนกผลิต ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้

ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน : ตั้งแต่วันที่ 2 กันยายน 2545 ถึงวันที่ 20 ธันวาคม 2545

โรงวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

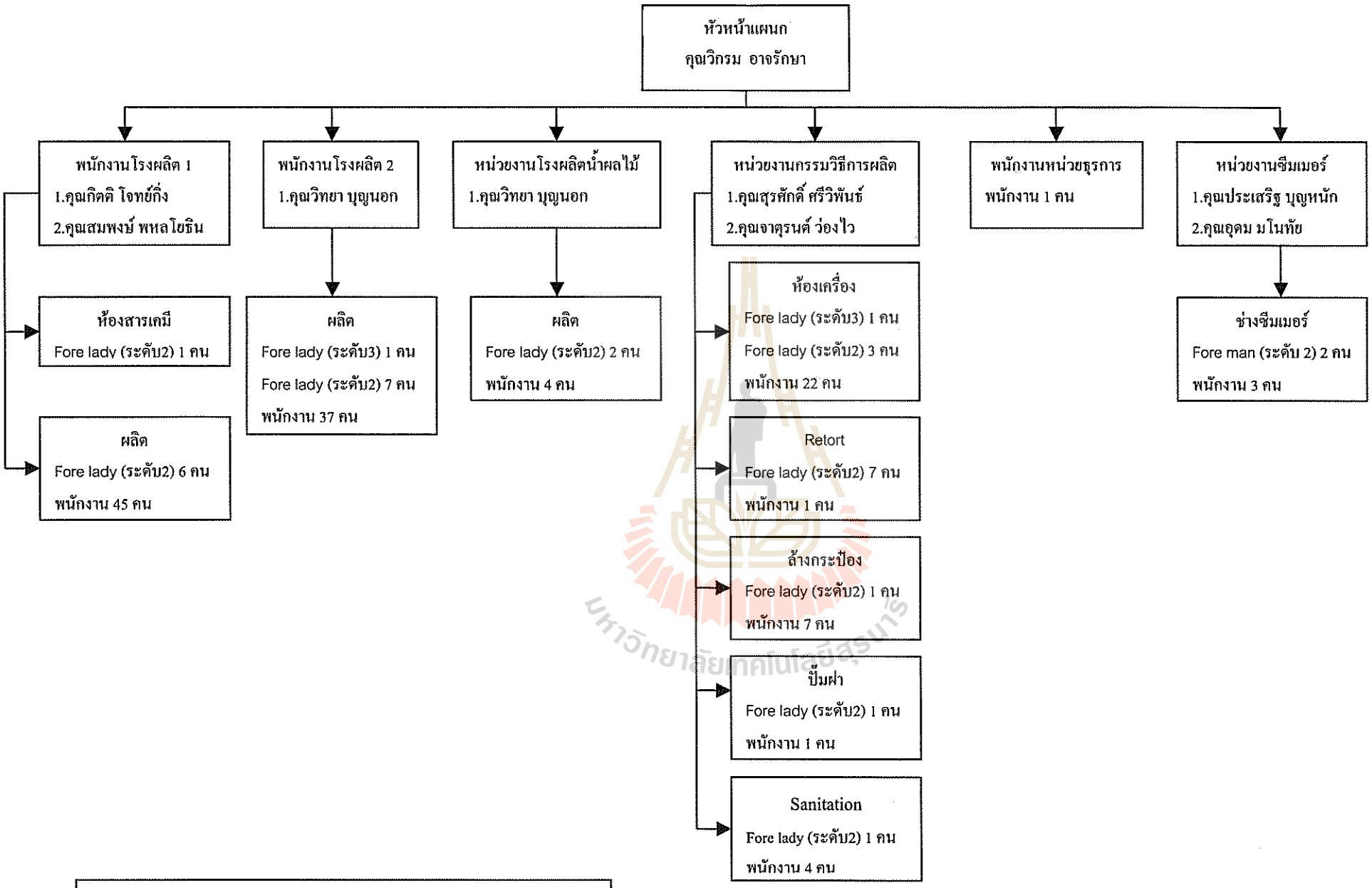
การจัดองค์กรและระบบการบริหาร

การจัดองค์กรและระบบการบริหารงานของบริษัท ฟู้ดแอนด์ดริ๊งส์ จำกัด (มหาชน) แสดงไว้ดังนี้



รูปที่ 1 Organization Chart : Food and Drinks Public Company Limited Board of Directors

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2 : แสดงผังองค์กรโรงผลิตผักและผลไม้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไอน้ำ

- **การกำเนิดไอน้ำ (Steam Generation)**

ไอน้ำจะเกิดขึ้นได้ โดยการนำเอาน้ำมาต้มด้วยหม้อกำเนิดไอน้ำ โดยมีเชื้อเพลิง น้ำ และอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เป็นปัจจัยสำคัญในการผลิต เมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ พลังงานเคมีที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงจะถูกถ่ายเทความร้อนผ่านผนังหม้อกำเนิดไอน้ำเข้าสู่น้ำ อุณหภูมิของน้ำจะสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัวนั่นคือ น้ำจะเกิดการเดือด พลังงานความร้อนที่ถูกเพิ่มเข้าไปและก่อให้เกิดผลในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ เรียกว่า เอนทาลปีของน้ำอิ่มตัว (Enthalpy of Saturated Water , h_f) และเรียกน้ำขณะที่ถึงจุดเดือดว่า น้ำอิ่มตัว (Saturated Water) หลังจากนั้นน้ำที่อุณหภูมิ 100°C ก็จะได้รับความร้อนจากเชื้อเพลิงต่อไป เอนทาลปีที่เกิดเพิ่มขึ้นโดยการถ่ายเทความร้อนในตอนนี้ไม่ได้ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นแต่จะทำให้น้ำเกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ (Enthalpy of Vaporation , h_{fg}) เมื่อนำเอนทาลปีทั้ง 2 ชนิดนี้มารวมกัน จะได้เอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัว (Enthalpy of Saturated Steam , h_g) โดย

$$h_{fg} = h_g - h_f$$

เมื่อไอน้ำได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่ง น้ำจะเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ อุณหภูมินี้เรียกว่า “อุณหภูมิอิ่มตัว” ไอน้ำที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิอิ่มตัวนี้เรียกว่า “ไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam)” และน้ำที่อุณหภูมิอิ่มตัวรียกว่า “น้ำอิ่มตัว” จากนั้นปริมาณไอน้ำจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ ในช่วงแรกที่น้ำเริ่มเปลี่ยนสถานะไอน้ำที่ได้จะเป็นของผสมระหว่างไอน้ำอิ่มตัวกับน้ำอิ่มตัว สภาพเช่นนี้เรียกว่าไอน้ำเปียกหรือไอน้ำชื้น (Wet Steam) เมื่อน้ำได้รับความร้อนมากยิ่งขึ้น ปริมาณน้ำในไอน้ำจะลดลงจนกลายเป็นไอน้ำอิ่มตัวทั้งหมด ไม่มีน้ำอิ่มตัวปนอยู่เลย สภาพเช่นนี้เรียกว่า ไอน้ำแห้ง (Dry Steam)

- **การใช้ไอน้ำ (Steam Consuming)**

ปริมาณการใช้ไอน้ำสำหรับแต่ละอุปกรณ์ต่างๆในแต่ละกระบวนการผลิตนั้น เป็นค่าที่จะนำมาใช้กำหนดขนาดท่อส่งไอน้ำ , กับดักไอน้ำ(Steam trap)และอุปกรณ์ควบคุมอื่นๆ การหาปริมาณไอน้ำสามารถหาค่าได้จากปริมาณน้ำ condensate ที่ออกมาจากกับดักไอน้ำ แต่ในกรณีที่การติดตั้งกับดักไอน้ำไม่เอื้ออำนวย อาจใช้วิธีการคำนวณโดยการประมาณและมีสมมติฐานว่าระบบดำเนินอยู่ในสภาวะคงที่และไม่มีการสูญเสียความร้อนออกจากระบบ สำหรับกรณีที่วัสดุที่ได้รับความร้อนไม่มีการเปลี่ยนสถานะ สามารถใช้สมการดังนี้

$$m_p c_p \Delta T = m_s h_{fg}$$

เมื่อ

m_p	=	ปริมาณของผลิตภัณฑ์ (kg/batch)
c_p	=	ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (kJ/kg.K)
ΔT	=	ผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าและออกของผลิตภัณฑ์ (K)
m_s	=	ปริมาณไอน้ำที่ใช้ (kg steam/batch)
h_{fg}	=	เอนทาลปีของการกลายเป็นไอน้ำ (kJ/kg)

โดยค่าความร้อนจำเพาะ (c_p) เป็นปริมาณความร้อนที่ได้รับหรือสูญเสียไปต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักเพื่อให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการโดยไม่มีการเปลี่ยนสถานะ ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ปริมาณความชื้น อุณหภูมิและความดัน (Mohsenin , 1980)ได้เสมอ สมการการหาค่าความร้อนจำเพาะในอาหาร เช่น ไข่ , เนื้อสัตว์ , ผักและผลไม้ ดังนี้

$$C_f = (C_w - C_D)X_w + C_D$$

เมื่อ C_f = ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นใดๆ (kJ/kg.°C)

C_w = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg.°C)

C_D = ค่าความร้อนจำเพาะของ dry solid ของผลิตภัณฑ์ (kJ/kg.°C)

X_w = Moisture Content (%)

- **การสูญเสียพลังงานในระบบท่อลำเลียง**

1.การรั่วของไอน้ำ เป็นการสูญเสียพลังงานในระบบท่อลำเลียงไอน้ำที่เห็นได้ชัดเจน ปริมาณไอน้ำที่รั่วสามารถคำนวณๆได้จากสมการ ดังนี้

$$G = 0.5626\, D^2 \sqrt{p / v}$$

เมื่อ G = ปริมาณไอน้ำแห้งอิ่มตัว (kg / hr / 1 รูรั่ว)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางรูรั่ว (mm)

p = ความดันไอน้ำ (kg/cm^2)

v = ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (m^3/kg)

2.การสูญเสียพลังงานจากท่อส่งไอน้ำที่ไม่ได้หุ้มฉนวน

การสูญเสียพลังงานความร้อนดังกล่าว สามารถหาการสูญเสียความร้อนอย่างง่ายโดยการคิดการสูญเสียความร้อนแบบการพาโดยธรรมชาติและการแผ่รังสีความร้อน จากสมการดังนี้

$$Q = (h_C + h_R)\, A\, (T_S - T_a)$$

เมื่อ h_C = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2.K$)

h_R = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ($W/m^2.K$)

A = พื้นที่ผิวของท่อส่งไอน้ำที่เกิดการถ่ายเทความร้อน (m^2)

T_S = อุณหภูมิของผิวท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน (K)

T_a = อุณหภูมิของบรรยากาศ (K)

สำหรับการหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติสำหรับทรงกระบอกในแนวตั้งและแนวนอน สมการที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$N_{NU} = \frac{h_C L}{K} = a(N_{Gr}N_{Pr})^m$$

$$= a \cdot \frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2} \cdot \frac{C_p \mu}{k}^m$$

เมื่อ N_{NU} = Nusselt number

h_C = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2.K$)

L = ความยาวของท่อสำหรับท่อในแนวตั้ง (m)

= เส้นผ่านกลางภายนอกท่อสำหรับท่อในแนวนอน (m)

a = ค่าคงที่

N_{Gr} = Grashof number

N_{Pr} = Prandtl number

m = ค่าคงที่

g = ความเร่งของแรงดึงดูดโลก = 9.80665 m^2/s

คุณสมบัติทางกายภาพของของไหลที่อุณหภูมิ $T_f = (Ts - Ta)/2$

เมื่อ k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m^2.K$)

ρ = ค่าความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

β = สัมประสิทธิ์เชิงปริมาณของการขยายตัวของของไหล (1/K)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ (K)

Cp = ค่าความร้อนจำเพาะของของไหล (kJ/kg.K)

μ = ค่าความหนืดของของไหล (kg/m.s)

สำหรับการหาสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน สามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$h_R = \frac{\varepsilon \sigma (Ts^4 - Ta^4)}{(Ts - Ta)}$$

เมื่อ h_R = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ($W/m^2.K$)

ε = ความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุหรือค่า emissivity

σ = ค่าคงที่ของสตีฟาน-โบลทซ์มานน์ มีค่าเท่ากับ 5.67x10-8 ($W/m^2.K^4$)

Ts = อุณหภูมิของผิวท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน (K)

Ta = อุณหภูมิของบรรยากาศ (K)

3.การสูญเสียพลังงานจากการระบายน้ำ Condensate ทิ้ง

4.การสูญเสียพลังงานจากการเลือกใช้กับดักไอน้ำไม่ถูกต้อง

5.การสูญเสียพลังงานจาก Flash Steam

6.การสูญเสียพลังงานจากการระบายอากาศไม่เพียงพอ

7.การสูญเสียพลังงานจากการใช้ฉนวนหุ้มท่อส่งไอน้ำไม่ถูกต้อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- **การสูญเสียพลังงานในอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ**

การนำไอน้ำไปใช้จะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การฉีดพ่นโดยตรง (Direct Steam Injection) และการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโลหะ หลักการที่สำคัญของการใช้ไอน้ำ คือ ไอน้ำจะต้องแห้งมากที่สุดก่อนเข้ากระบวนการ ในบางกรณีจำเป็นต้องาติดาตั้งตัวแยกไอน้ำสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำแต่ละตัว

สำหรับ การคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่สูญเสียต่อเวลา จะใช้สมการดังนี้

$$Q = S\lambda$$

เมื่อ S = ปริมาณไอน้ำที่สูญเสีย (kg/hr)

λ = ค่าความร้อนแฝงของการระเหย (kJ/kg)

- **การวัดปริมาณน้ำ Condensate**

การวัดปริมาณน้ำ Condensate สามารถทำการวัดได้ในช่วงของการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ โดยใช้น้ำที่รู้น้ำหนักแน่นนอนมาเป็นตัวควบแน่นแล้วจึงลบกับน้ำหนักน้ำที่เพิ่มขึ้น ก็สามารถวัดปริมาณน้ำ Condensate หลังจากนั้นจึงนำปริมาณน้ำ Condensate ที่ได้มา Plot กราฟเทียบกับเวลา โดยให้แกนนอนเป็นแกนเวลา (นาที) และแกนตั้งเป็นปริมาณน้ำ (kg) จากนั้นจึงหาพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้กฎของ Simpson ดังสมการ

$$\text{พื้นที่ใต้กราฟ} = h/3\,[\,y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + \ldots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + \ldots + y_{n-2}) + y_n]$$

เมื่อ $h = (b-a)/n$

$(b-a)$ = ระยะห่างระหว่าง $X=0$ ถึง $X=n$

n = จำนวนช่องที่แบ่ง

- **การใช้ไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ**

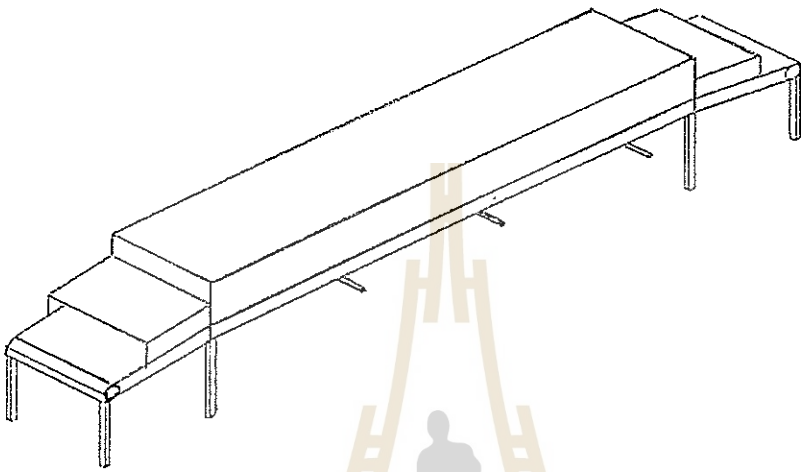
การใช้ไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ คือ การนำเอาพลังงานความร้อนที่มีอยู่ในไอน้ำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ทางด้านความร้อนมากที่สุด โดยมีแนวทางการปฏิบัติดังนี้

1. ขจัดน้ำ condensate และไอเปียกในระบบออกตลอดเวลา เพื่อเก็บรักษาไอแห้งให้คงอยู่ในระบบอย่างสม่ำเสมอ
2. อุดรูรั่วของท่อส่งไอน้ำให้หมดทุกจุด และตรวจสอบวาล์วไอน้ำทุกๆตัวว่าปิดสนิท ไม่มีการรั่ว
3. เดินท่อส่งไอน้ำให้มีข้อต่อข้องอต่างๆให้น้อยที่สุด เพื่อลดการ Friction Loss
4. หุ้มฉนวนเก็บความร้อนในระบบทุกจุดให้ดีที่สุด และเลือกใช้วัสดุที่มีมาตรฐานและมี Heat loss ต่ำที่สุด
5. เลือกใช้ Steam trap ให้เหมาะสมกับงานและดูแลรักษาให้ใช้งานได้ตามปกติ เนื่องจากการทำงานที่ไม่ปกติจะเป็นผลเสียมากกว่าการไม่ใช้เสียอีก
6. พิจารณาลักษณะงานของไอน้ำที่นำไปใช้ ถ้าเป็นการใช้ความร้อนพยายามใช้ไอน้ำที่มีความดันต่ำ เพราะการแลกเปลี่ยนความร้อนทำในช่วงของสารสองสถานะหรือค่าความร้อนแฝงเท่านั้น ยิ่งความดันต่ำเท่าไรค่าความร้อนแฝงจะมากขึ้นเท่านั้น
7. พยายามนำน้ำ condensate กลับมาใช้ประโยชน์อีก
8. ปรับแรงดันไอน้ำให้ถูกต้องในการใช้งานแต่ละจุด จะทำให้สามารถควบคุมความร้อนได้ถูกต้องและเป็นการประหยัดพลังงานความร้อนได้ดี

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีการใช้ไอน้ำ

1. เครื่องลวกแบบใช้ไอน้ำ (Steam Blancher)

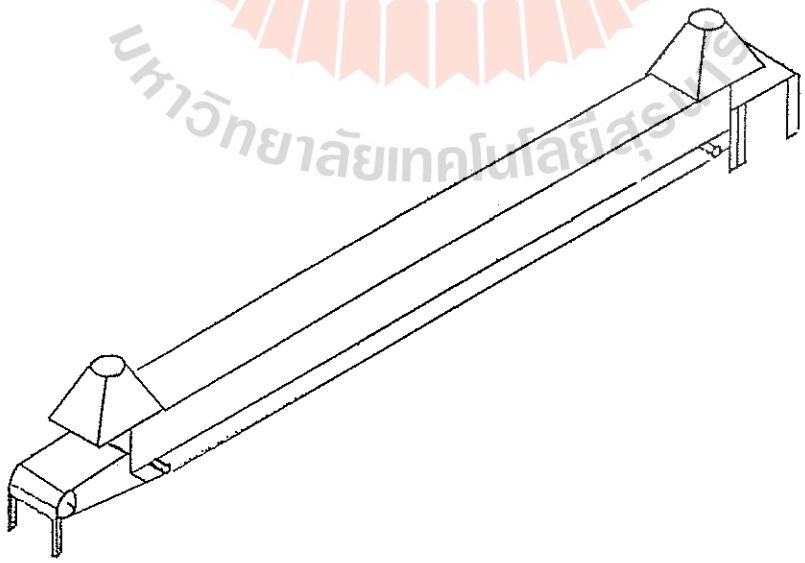
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน เครื่องมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมเปิดทางด้านหัวและท้าย มีอุปกรณ์วัดและบันทึกอุณหภูมิ , อุปกรณ์วัดความดันไอน้ำที่เข้าสู่เครื่อง โดยมีการใช้สายพานลำเลียงข้าวโพดเข้าสู่เครื่อง สำหรับหลักการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบ Direct Steam Injection คือ พ่นไอน้ำลงไปยังผลิตภัณฑ์โดยตรง



รูปที่ 3 : เครื่องลวกแบบใช้ไอน้ำ (Steam Blancher)

2. รางไล่อากาศ (Exhaust Box)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้ความร้อนเพื่อเป็นการไล่อากาศออกจากผลิตภัณฑ์ เครื่องมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมเปิดทางด้านหัวและท้าย มีปล่องระบายไอน้ำอยู่ทางด้านบน ใช้สายพานในการลำเลียงผลิตภัณฑ์ที่บรรจุกระป๋องแล้วเข้าสู่ตัวเครื่อง ประกอบด้วยรางไล่อากาศ (Exhaust Box no. 1 , 2 , 3, 4 และ 5)

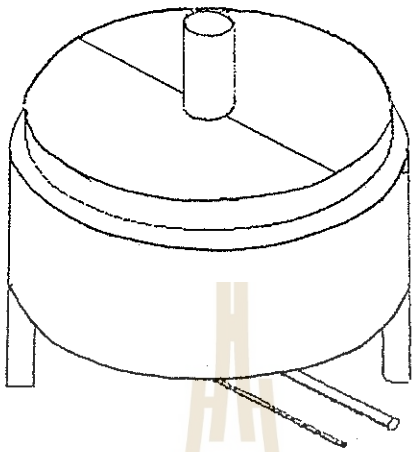


รูปที่ 4 : รางไล่อากาศ (Exhaust Box)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. หม้อต้มสองชั้น (Kettle)

ใช้ในขั้นตอนการ Pre – heat ผลิตภัณฑ์ก่อนการบรรจุ เป็นเครื่องที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกซ้อนกัน 2 ชั้น โดยช่องว่างระหว่างหม้อจะเป็นที่ที่ใช้สำหรับบรรจุไอน้ำ เพื่อใช้ในการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโลหะทรงกระบอก



รูปที่ 5 : หม้อต้มสองชั้น (Kettle)

4. เครื่องลวกแบบใช้ในร้อน (Hot – water Blancher)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลวกผลิตภัณฑ์ เช่น ว่านหางจระเข้ , แครอท และแห้ว เป็นต้น เครื่องมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ใช้ไอน้ำเป็นตัวถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำและผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเครื่อง

5. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Tubular Heat Exchanger)

เป็นเครื่องที่ใช้ในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มชาจีนอูลอง เป็นเครื่องที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกภายในบรรจุท่อขนาดเล็กหลายท่อ ใช้ในขั้นตอนการต้มน้ำให้ร้อน

6. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger)

ใช้ในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มชาจีนอูลองเช่นกัน เป็นการให้ความร้อนกับน้ำชาก่อนการบรรจุ เครื่องประกอบด้วยแผ่นเหล็กแสตนเลสบางๆจำนวนหลายแผ่นวางประกบกันและยึดติดกันด้วยกรอบโลหะ มีช่องว่างที่ขนานกันระหว่างแผ่นผลิตภัณฑ์และตัวกลางถ่ายเทความร้อน ของทั้งสองอย่างนี้จะถูกปั๊มผ่านช่องเหล่านี้สลับกัน โดยแผ่นโลหะทั้งหมดจะถูกปิดแน่นด้วยยางสังเคราะห์เพื่อป้องกันการผสมกันระหว่างผลิตภัณฑ์และตัวกลาง

7. Retort

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการฆ่าเชื้อทุกผลิตภัณฑ์และใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางในการให้ความร้อน การทำงานแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงของการไล่อากาศและช่วงการฆ่าเชื้อ โดย Retort ที่ใช้มีทั้งแบบ Horizontal Still Retort Automatic Controller 4x18 ft. (NO.1-5) , Horizontal Still Retort Semi-Automatic Controller 4x6 ft. (NO.6-7) และ Vertical Still Retort 6x7 ft. และ 4x7 ft. (NO.11-12)

บทที่ 3
รายละเอียดของงานที่ปฏิบัติ

3.1 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบ 7 ผลิตภัณฑ์

3.1.1 เครื่องดื่มชาจีนอูลอง บรรจุกระป๋องขนาดบรรจุ 250 cm^3 มีกระบวนการผลิตดังนี้

1. ต้มน้ำให้ร้อนโดยการใช้ Tubular Heat Exchanger หลังจากนั้นปั๊มน้ำร้อนขึ้นไปยังเครื่อง Extractor ที่มีใบชาอยู่ก่อนแล้ว แช่ใบชาไว้ในน้ำร้อนเป็นเวลา 1 นาที
2. ทำการลดอุณหภูมิของน้ำชาลง โดยการผ่านเครื่อง Plate Heat Exchanger ให้อุณหภูมิลดลงที่ 40°C
3. นำน้ำชาที่ได้มาเข้าเครื่องเหวี่ยง (Centrifuge) แยกเอาตะกอนชาทิ้ง หลังจากนั้นนำให้ความร้อนโดยใช้เครื่อง Plate Heat Exchanger อีกครั้ง
4. บรรจุน้ำชาขณะร้อน (Hot-fill) ลงกระป๋องด้วยเครื่องบรรจุแล้วทำการปิดฝา เรียงกระป๋องลงในตะกร้าให้เต็มโดยใช้ divider คั่นกระป๋องในแต่ละชั้น จากนั้นลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์เข้าเครื่อง Retort เพื่อทำการไล่อากาศและฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ตามเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด
5. เมื่อทำการฆ่าเชื้อและ cooling ผลิตภัณฑ์เสร็จแล้ว ทำการลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์ไปยังบริเวณ Drying Area ใช้ลมเป่ากระป๋องให้แห้งเพื่อป้องกันการเกิดสนิม หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นก่อนส่งไปยังโกดังสินค้า

3.1.2 ว่านหางจระเข้ในน้ำเปล่า บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700 มีกระบวนการผลิตดังนี้

1. พนักงานปอกเปลือกว่านหางจระเข้แล้วฝานให้ได้ความหนาตามที่กำหนด
2. จากนั้นนำมากดผ่านพิมพ์เพื่อตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกเต๋า แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรด Citric
3. ทำการร่อนเพื่อเอาว่านหางจระเข้ที่มีขนาดไม่ตรงตามที่กำหนดออก จากนั้นนำไปแช่ในสารเคมีแล้วทำการลวกนานเป็นเวลา 10 นาทีด้วยเครื่องลวกแบบใช้น้ำร้อน (Hot-water Blancher) ล้างด้วยน้ำเย็น
4. บรรจุว่านหางจระเข้ลงในกระป๋อง ชั่งน้ำหนักเนื้อว่านให้ตรงตามที่กำหนด (Pack Weight)
5. เติมน้ำเปล่า ชั่งน้ำหนักเนื้อว่านและน้ำเปล่าให้ได้ตามน้ำหนักที่กำหนด (Net Weight) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปผ่านการไล่อากาศด้วยเครื่อง Exhaust Box
6. ปิดฝากระป๋อง เรียงกระป๋องลงในตะกร้าให้เต็มโดยใช้ divider คั่นกระป๋องในแต่ละชั้น จากนั้นลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์เข้าเครื่อง Retort เพื่อทำการไล่อากาศและฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ตามเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด
7. เมื่อทำการฆ่าเชื้อและ cooling ผลิตภัณฑ์เสร็จแล้ว ทำการลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์ไปยังบริเวณ Drying Area ใช้ลมเป่ากระป๋องให้แห้งเพื่อป้องกันการเกิดสนิม หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นก่อนส่งไปยังโกดังสินค้า

3.1.3 ข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700

1. ทำการร่อนไหมข้าวโพดออกจากฝักข้าวโพดก่อน หลังจากนั้นจึงลำเลียงข้าวโพดฝักอ่อนไปลวกเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้เครื่องลวกแบบใช้ไอน้ำ (Steam Blancher)
2. นำข้าวโพดฝักอ่อนที่ผ่านการลวกแล้วมาคัดขนาดโดยใช้เครื่องคัดขนาด หลังจากนั้นจึงนำมาตัดแต่งและคัดแยกส่วนที่เสียออก

3. ทำการบรรจุข้าวโพดฝักอ่อนลงในกระป๋อง พร้อมชั่งน้ำหนักข้าวโพดฝักอ่อนให้ได้น้ำหนักตามที่กำหนด (Pack Weight)
4. เติมน้ำเกลือ ชั่งน้ำหนักข้าวโพดฝักอ่อนและน้ำเกลือให้ได้ตามน้ำหนักที่กำหนด (Net Weight) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปผ่านการไล่อากาศด้วยเครื่อง Exhaust Box
5. ปิดฝากระป๋อง เรียงกระป๋องลงในตะกร้าให้เต็มโดยใช้ divider คั่นกระป๋องในแต่ละชั้น จากนั้นลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์เข้าเครื่อง Retort เพื่อทำการไล่อากาศและฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ตามเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด
6. เมื่อทำการฆ่าเชื้อและ cooling ผลิตภัณฑ์เสร็จแล้ว ทำการลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์ไปยังบริเวณ Drying Area ใช้ลมเป่ากระป๋องให้แห้งเพื่อป้องกันการเกิดสนิม หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นก่อนส่งไปยังโกดังสินค้า

3.1.4 ถั่วงอกในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308

1. นำถั่วงอกมาล้างทำความสะอาด จากนั้นนำมาแช่ในสารเคมีเป็นเวลา 20 นาทีพร้อมทั้งทำการคัดแยกเศษเปลือกและส่วนที่เน่าออก
2. เมื่อครบเวลานำถั่วงอกมาลวกด้วยเครื่องลวกแบบใช้น้ำร้อน (Hot-water Blancher) โดยน้ำที่ใช้ในการลวกทำการปรับให้เหมาะสมด้วยสารเคมี แล้วทำให้เย็น
3. ถั่งงอกที่เย็นแล้วนำมาคัดแยกเศษเปลือกและส่วนที่เน่าออกอีกครั้ง ก่อนนำไปแช่ในสารเคมีเป็นเวลา 20 นาที
4. ทำการบรรจุถั่วงอกลงในกระป๋อง พร้อมชั่งน้ำหนักถั่วงอกให้ได้น้ำหนักตามที่กำหนด (Pack Weight)
5. เติมน้ำเกลือ ชั่งน้ำหนักถั่วงอกและน้ำเกลือให้ได้ตามน้ำหนักที่กำหนด (Net Weight) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปผ่านการไล่อากาศด้วยเครื่อง Exhaust Box
6. ปิดฝากระป๋อง เรียงกระป๋องลงในตะกร้าให้เต็มโดยใช้ divider คั่นกระป๋องในแต่ละชั้น จากนั้นลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์เข้าเครื่อง Retort เพื่อทำการไล่อากาศและฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ตามเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด
7. เมื่อทำการฆ่าเชื้อและ cooling ผลิตภัณฑ์เสร็จแล้ว ทำการลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์ไปยังบริเวณ Drying Area ใช้ลมเป่ากระป๋องให้แห้งเพื่อป้องกันการเกิดสนิม หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นก่อนส่งไปยังโกดังสินค้า

3.1.5 แครอทในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700

7. พนักงานนำเอาหัวแครอทมาล้างทำความสะอาดแล้วทำการปอกเปลือก ตัดแต่งคัดแยกส่วนที่เสียและเน่าออก
8. นำแครอทที่ได้มาหั่นให้มีขนาดตามที่กำหนด จากนั้นนำไปแช่ในสารเคมีเป็นเวลา 20 – 30 นาที แล้วจึงนำมาลวกนานเป็นเวลา 90 - 120 วินาทีด้วยเครื่องลวกแบบใช้น้ำร้อน (Hot-water Blancher) ล้างด้วยน้ำเย็น
9. ทำการคัดเลือกและตัดแต่งอีกครั้ง ก่อนนำมาบรรจุลงในกระป๋อง พร้อมชั่งน้ำหนักแครอทให้ได้น้ำหนักตามที่กำหนด (Pack Weight)

10. เติมน้ำเกลือผสมน้ำตาล ชั่งน้ำหนักแครอทและน้ำเกลือผสมน้ำตาลให้ได้ตามน้ำหนักที่กำหนด (Net Weight) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปผ่านการไล่อากาศด้วยเครื่อง Exhaust Box
11. ปิดฝากระป๋อง เรียงกระป๋องลงในตะกร้าให้เต็มโดยใช้ divider คั่นกระป๋องในแต่ละชั้น จากนั้นลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์เข้าเครื่อง Retort เพื่อทำการไล่อากาศและฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ตามเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด
12. เมื่อทำการฆ่าเชื้อและ cooling ผลิตภัณฑ์เสร็จแล้ว ทำการลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์ไปยังบริเวณ Drying Area ใช้ลมเป่ากระป๋องให้แห้งเพื่อป้องกันการเกิดสนิม หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นก่อนส่งไปยังโกดังสินค้า

3.1.6 มะละกอในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 300 x 407

1. พนักงานนำเอามะละกอมาล้างทำความสะอาดแล้วทำการผ่าครึ่ง แคะเมล็ดและเยื่อออกและตัดแต่งคัดแยกส่วนที่เสียและเน่าออก
2. นำมะละกอที่ผ่านการตัดแต่งแล้วมาแช่ในสารเคมีเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาตัดให้ได้ขนาดตามที่กำหนดแล้วนำไปแช่ในสารเคมีอีกครั้งเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำล้างน้ำ
3. ทำการบรรจุมะละกอลงในกระป๋อง พร้อมชั่งน้ำหนักมะละกอให้ได้น้ำหนักตามที่กำหนด (Pack Weight)
4. เติมน้ำเชื่อ ชั่งน้ำหนักมะละกอและน้ำเชื่อมให้ได้ตามน้ำหนักที่กำหนด (Net Weight) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปผ่านการไล่อากาศด้วยเครื่อง Exhaust Box
5. ปิดฝากระป๋อง เรียงกระป๋องลงในตะกร้าให้เต็มโดยใช้ divider คั่นกระป๋องในแต่ละชั้น จากนั้นลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์เข้าเครื่อง Retort เพื่อทำการไล่อากาศและฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ตามเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด
6. เมื่อทำการฆ่าเชื้อและ cooling ผลิตภัณฑ์เสร็จแล้ว ทำการลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์ไปยังบริเวณ Drying Area ใช้ลมเป่ากระป๋องให้แห้งเพื่อป้องกันการเกิดสนิม หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นก่อนส่งไปยังโกดังสินค้า

3.1.7 น้ำและเนื้อเสาวรส บรรจุกระป๋องขนาด 5.5 oz

1. พนักงานนำเอาเสาวรสมาล้างทำความสะอาดแล้วทำการผ่าครึ่ง แคะเอาน้ำ , เนื้อ และเมล็ดออกและคัดเอาเศษรก , เศษขั้วออก
2. ทำการเติมส่วนผสมอื่นๆลงในน้ำและเนื้อเสาวรส ใช้เครื่องผสม (Mixer) ผสมให้เข้ากัน แล้วทำการ Pre-Heat เพื่อให้ส่วนผสมต่างๆละลายเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้หม้อต้มสองชั้น (Kettle)
3. บรรจุน้ำและเนื้อเสาวรสขณะร้อน (Hot-fill) ลงในกระป๋องให้ได้น้ำหนักตามที่กำหนด (Net Weight)
4. ปิดฝากระป๋อง เรียงกระป๋องลงในตะกร้าให้เต็มโดยใช้ divider คั่นกระป๋องในแต่ละชั้น จากนั้นลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์เข้าเครื่อง Retort เพื่อทำการไล่อากาศและฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ตามเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด
5. เมื่อทำการฆ่าเชื้อและ cooling ผลิตภัณฑ์เสร็จแล้ว ทำการลำเลียงตะกร้าผลิตภัณฑ์ไปยังบริเวณ Drying Area ใช้ลมเป่ากระป๋องให้แห้งเพื่อป้องกันการเกิดสนิม หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นก่อนส่งไปยังโกดังสินค้า

3.2 การศึกษาและการดำเนินการเก็บข้อมูล

การดำเนินการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณไอน้ำในกระบวนการผลิต จะทำการเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบทั้งหมด 7 ผลิตภัณฑ์ คือ

1. เครื่องดื่มชาจีนอูลอง บรรจุกระป๋องขนาดบรรจุ 250 cm^3
2. ว่านหางจระเข้ในน้ำเปล่า บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700
3. ข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700
4. ถั่วงอกในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308
5. แครอทในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700
6. มะละกอในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 300 x 407
7. น้ำและเนื้อเสาวรส บรรจุกระป๋องขนาด

ก. การศึกษาและการประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์ สำหรับสมการการหาปริมาณไอน้ำจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัสดุไม่มีการเปลี่ยนสถานะ อุปกรณ์ในกลุ่มนี้ได้แก่

1. Tubular Heat Exchanger และ Plate Heat Exchanger ในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มชาจีนอูลองบรรจุกระป๋อง
2. Kettle ในกระบวนการผลิตน้ำและเนื้อเสาวรสบรรจุกระป๋อง
3. Exhaust Box ในกระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน , ว่านหางจระเข้ , ถั่วงอก , แครอท และมะละกอ
4. Hot – water Blancher ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้ , ถั่วงอก , แครอทบรรจุกระป๋อง

โดยทำการเก็บข้อมูล ดังนี้

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์
- น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ต่อ batch / อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์
- ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์
- อุณหภูมิขาเข้าและออกจากอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์

ข. การศึกษาและการประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์ สำหรับสมการการหาปริมาณไอน้ำที่สูญเสียเนื่องจากรูรั่ว อุปกรณ์ในกลุ่มนี้ได้แก่

1. Steam Blancher ในกระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน

โดยทำการเก็บข้อมูล ดังนี้

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์
- เส้นผ่านศูนย์กลางและจำนวนรูที่ปล่อยไอน้ำของ Steam Spreader

ค. การศึกษาและการประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์ สำหรับสมการการหาปริมาณไอน้ำที่สูญเสียเนื่องจากรูรั่ว ร่วมกับสมการการหาปริมาณไอน้ำจากปริมาณน้ำ Condensate อุปกรณ์ในกลุ่มนี้ได้แก่ Retort ที่ใช้สำหรับฆ่าเชื้อในทุกผลิตภัณฑ์ ในการเก็บข้อมูลจะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

1. ช่วงการไล่อากาศ จะใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำเนื่องจากรูรั่ว
โดยทำการเก็บข้อมูล ดังนี้

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort
- เส้นผ่านศูนย์กลางและจำนวนรูที่ปล่อยไอน้ำของ Steam Spreader

2. ช่วงการฆ่าเชื้อ จะใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำเนื่องจากรูรั่ว และการวัดปริมาณน้ำ condensate โดยทำการเก็บข้อมูล ดังนี้

- สำหรับสมการการหาปริมาณไอน้ำเนื่องจากรูรั่ว
  - ความดันของเครื่อง Retort
  - เส้นผ่านศูนย์กลางและจำนวนของ Bleeder
- สำหรับการวัดปริมาณน้ำ Condensate
  - เตรียมอุปกรณ์ต่างๆเพื่อใช้ในการวัดปริมาณน้ำ Condensate และต่อสายยางเข้ากับท่อ drain ของ Retort
  - เตรียมน้ำเพื่อใช้ในการควบแน่น โดยชั่งและบันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของถังและน้ำ
  - ปฏิบัติตามขั้นตอนการไล่อากาศ เมื่อสิ้นสุดการไล่อากาศและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ เตรียมเก็บน้ำ Condensate
  - ทำการเก็บปริมาณน้ำ Condensate ตามเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ และบันทึกผล

4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ตารางที่ 1 : แสดงอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ประเภทของข้อมูล	อุปกรณ์และเครื่องมือวัด
ขนาดต่างๆ	ไม้บรรทัด และ เวอร์เนียคาลิปเปอร์
อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอลและแบบปรอท
ความดันไอน้ำ	Pressure gauge
น้ำหนักน้ำ condensate	ตาชั่ง , ถังใส่น้ำ , นาฬิกาจับเวลา , สายยาง , ถุงมือผ้าและถุงมือกันความร้อน

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของไอน้ำ (Steam) ที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ในปัจจุบันการผลิตในแผนกผลิตผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ได้ใช้พลังงานไอน้ำจากหม้อกำเนิดไอน้ำ หมายเลข 1 ที่มีกำลังการผลิต 6 ton/hr

สำหรับการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของไอน้ำ จะทำการคำนวณจากสมการ

$$H = H_c + X_s (H_v - H_c)$$

จากภาคผนวก ก.1 ค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูล มีดังนี้

- ความดันของหม้อกำเนิดไอน้ำ 120 lb / in^2 หรือเท่ากับ 827.37 KPa

จากความดันที่ได้นำมาเปิดตาราง (ภาคผนวก ง.) จะได้ค่า

H_c = 730.19 kJ/kg

H_v = 2771.15 kJ/kg

- ผลรวมของปริมาณไอน้ำที่มีการสูญเสียเนื่องจากรูรั่วและการสูญเสียเนื่องจากท่อส่งไอน้ำที่ไม่ได้หุ้มฉนวน เท่ากับ 43.64 kJ/kg (วศินา,2544)

ดังนั้น

$$H = H_c + X_s (H_v - H_c)$$

$$2771.15 \text{ kJ/kg} - 43.64 \text{ kJ/kg} = 730.19 \text{ kJ/kg} + X_s (2771.15 \text{ kJ/kg} - 730.19 \text{ kJ/kg})$$

$$2727.51 \text{ kJ/kg} = 730.19 \text{ kJ/kg} + 2040.96 \text{ kJ/kg} (X_s)$$

$$X_s = \frac{2727.51 - 730.19 \text{ kJ/kg}}{2040.96}$$

$$X_s = 0.9786$$

หรือ $X_s = 97.86\ \%$

ดังนั้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของไอน้ำที่ใช้ เท่ากับ 97.86%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2 ผลการศึกษาและการประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบ 7 ผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ 7 ผลิตภัณฑ์ มีดังนี้

1. เครื่องดื่มชาจีนอูลอง บรรจุกระป๋องขนาดบรรจุ 250 cm^3
2. ว่านหางจระเข้ในน้ำเปล่า บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700
3. ข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700
4. ถั่วงอกในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308
5. แครอทในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700
6. มะละกอในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 300 x 407
7. น้ำและเนื้อเสาวรส บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308

ตารางที่ 2 : แสดงปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบทั้ง 7 ผลิตภัณฑ์

อุปกรณ์	ปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์ (kg steam / hr)						
	Product 1	Product 2	Product 3	Product 4	Product 5	Product 6	Product 7
Steam Blancher	-	-	6,445.56	-	-	-	-
Hot-water Blancher	-	147.8	-	193.98	193.98	-	-
Tubular Heat Exchanger	592.74	-	-	-	-	-	-
Plate Heat Exchanger	177.81	-	-	-	-	-	-
Kettle	-	-	-	-	-	-	88.23
Exhaust Box	-						-
No. 1		-	2,497.66	-	-	-	
No. 2		-	-	2,242.60	-	-	
No. 4		-	-	-	-	2,193	
No. 5		2,846	-	-	2,116.29	-	
Retort							
No. 1-5	1,849.43	1,047.96	1,637.3	-	2960.47	-	-
No. 6-7	-	-	-	475.28	-	469.4	474.84
รวมปริมาณการใช้ไอน้ำ	2,619.98	4,041.76	10,580.52	2,911.86	5,270.74	2,662.4	563.07

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

1. จากการศึกษา พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ มีค่าเท่ากับ 97.86% โดยการสูญเสียพลังงานความร้อนและปริมาณไอน้ำส่วนใหญ่แล้วมาจากการสูญเสียอันเนื่องมาจากการรูรั่วและท่อส่งไอน้ำที่ไม่ได้หุ้มฉนวน

2. จากการศึกษาและการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบทั้งหมด 7 ผลิตภัณฑ์ พบว่า ปริมาณไอน้ำที่มีการใช้มากที่สุดในเวลา 1 hr คือ กระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700 เท่ากับ 10,580.52 kg steam/batch รองมาเป็นผลิตภัณฑ์แครอทในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 603x700 ,ว่านหางจระเข้ในน้ำเปล่า บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700 , ถั่วงอกในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308 , มะละกอในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 300 x 407 , เครื่องดื่มชาจีนอูลอง บรรจุกระป๋องขนาดบรรจุ 250 cm^3 , น้ำและเนื้อเสาวรส บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308 โดยมีค่าเท่ากับ 5,270.74 , 4,041.76 , 2,911.86 , 2,662.4 , 2,619.98 และ 563.07 kg steam / batch ตามลำดับ

3. จากการศึกษาและการประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิต พบว่า อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตที่ใช้ปริมาณไอน้ำมากที่สุด คือ เครื่องลวกแบบใช้ไอน้ำ (Steam Blanch) รองมาเป็น รางไล่อากาศ (Exhaust Box) , Retort , เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Tubular Heat Exchanger) , เครื่องลวกแบบใช้น้ำร้อน (Hot-water Blancher) , เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger) และหม้อต้มสองชั้น (Kettle) ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 6
ปัญหา และข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษา พบว่า มีอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตหลายตัวที่ทีการใช้ไอน้ำในปริมาณมาก เช่น Steam Blancher และ Exhaust Box ในการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนและผลิตภัณฑ์อื่นๆ เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งสองชนิดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในการสัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรงและมีการปล่อยไอน้ำออกสู่บรรยากาศอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น การปล่อยให้มีการสูญเสียไอน้ำในปริมาณมากโดยเปล่าประโยชน์ จึงอาจทำให้เกิดการสูญเปล่าของพลังงานไอน้ำและก่อให้เกิดการสูญเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นตามมา ด้วยเหตุนี้ควรมีการปฏิบัติที่ดีในการใช้อุปกรณ์ดังกล่าว ปิดเครื่องทุกครั้งที่ไม่มีการใช้งาน

2. ปริมาณน้ำ Condensate ที่เกิดขึ้นในขณะส่งไอน้ำ ไอน้ำภายในท่อส่งไอน้ำจะมีการสูญเสียความร้อนออกจากผิวด้านนอกของท่อ ทำให้ไอน้ำภายในท่อเกิดการควบแน่นกลายเป็นน้ำและในขณะเริ่มส่งไอน้ำใหม่ๆ ตัวท่อจะรับความร้อนจากไอน้ำทำให้ท่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งเท่ากับอุณหภูมิของไอน้ำ ในช่วงนี้ไอน้ำจะเกิดการควบแน่นอย่างมากและทำให้มีปริมาณน้ำ Condensate มาก ปริมาณไอน้ำลดน้อยลง ดังนั้น จึงควรติดสตรีมแทรปที่มีขนาดเหมาะสม เพื่อให้สามารถส่งไอน้ำที่มีคุณภาพดี

3. สำหรับปริมาณไอน้ำที่มีการสูญเสียเนื่องจากรูรั่ว และการสูญเสียเนื่องจากท่อส่งไอน้ำที่ไม่ได้หุ้มฉนวน นับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ เพราะยิ่งปริมาณความร้อนที่สูญเสียออกจากท่อมากขึ้นเท่าไหร่ย่อมส่งผลให้ปริมาณไอน้ำในท่อส่งไอน้ำเกิดการควบแน่นมากขึ้นเท่านั้น ปริมาณไอน้ำก็ลดลงตามมาด้วย ดังนั้นจึงควรมีการตรวจสอบและซ่อมแซมในส่วนที่เป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียโดยเร็ว เพื่อลดการสูญเสียพลังงานและค่าใช้จ่ายในการผลิตมากขึ้น

4. จากการสังเกตการปฏิบัติงานในขั้นตอนการฆ่าเชื้อ พบว่า ปริมาณน้ำ Condensate ทีไหลออกมาไม่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ ดังนั้น การนำน้ำ Condensate กลับมาใช้ใหม่จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายนการผลิตได้

5. สำหรับการศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้ เป็นการคำนวณปริมาณไอน้ำที่ใช้โดยประมาณเท่านั้น ทั้งนี้สามารถนำข้อมูลต่างๆนี้มาทำการประยุกต์ใช้เพื่อใช้ในการคำนวณหาต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่แน่นอนได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

เทียนชัย ผดุงเจริญ . (2542) . **เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล ชุดที่ 4** . พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพมหานคร .

เมธินี เห่วซึ่งเจริญ . (2530). **วิศวกรรมอาหารเล่ม 1** . คณะเกษตรศาสตร์ . มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ . เชียงใหม่ .

ศูนย์ประหยัดและอนุรักษ์พลังงาน กองเศรษฐกิจการพลังงาน . **สตรีมแทรป (รหัส I6)** . สำนักงานพลังงานแห่งชาติ . กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน . กรุงเทพมหานคร .

วศินา ทาเขียว . (2544) . **รายงาน "ปริมาณการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตและประสิทธิภาพของหม้อกำเนิดไอน้ำ"** . สาขาวิศวกรรมอาหาร . คณะวิศวกรรมศาสตร์ . มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี .

Shafiur , R . (1995) . Food Properties Handbook . New York : Academic Press , INC.

Singh , R. Paul and Heldman , Dennis R . (1993) . Introduction To Food Engineering . New York : Academic Press , INC.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินงาน

ก.1 การศึกษาและการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มชาจีนอูลอง บรรจุกระป๋องขนาดบรรจุ 250 cm^3

ก.1.1 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Tubular Heat Exchanger)

- ความดันของไอน้ำในท่อส่งไอน้ำเข้าอุปกรณ์ เท่ากับ 0.5 bar
- น้ำหนักผลิตภัณฑ์ต่อ batch (m_p) เท่ากับ 2,000 kg/batch
- ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Cp) เท่ากับ 4.175 kJ/kg.K (ค่า Cp ของน้ำที่ 30°C)
- อุณหภูมิขาเข้าอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 31°C
- อุณหภูมิขาออกจากอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 95°C
- เอนทาลปีของการกลายเป็นไอ เท่ากับ 2,771.15 kJ/kg

ก.1.2 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger)

- ความดันของไอน้ำในท่อส่งไอน้ำเข้าอุปกรณ์ เท่ากับ 2.0 bar
- น้ำหนักผลิตภัณฑ์ต่อ batch (m_p) เท่ากับ 1,800 kg/batch
- ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Cp) เท่ากับ 4.186 kJ/kg.K
- อุณหภูมิขาเข้าอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 42°C
- อุณหภูมิขาออกจากอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 90°C
- เอนทาลปีของการกลายเป็นไอ เท่ากับ 2,771.15 kJ/kg

ก.1.3 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No.1-5)

ก.1.3.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 0.5 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 1.149 m^3/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนรูของ Steam spreader เท่ากับ 3/16 นิ้ว หรือ 4.76 mm จำนวน 214 รู
- อุณหภูมิที่ใช้ในการไล่อากาศ เท่ากับ 108°C เป็นเวลา 10 นาที

ก.1.3.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 1.0 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 0.881 m^3/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนของ Bleeder เท่ากับ 1/16 นิ้ว หรือ 3.175 mm จำนวน 6 อัน

- อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ เท่ากับ 119°C เป็นเวลา 26 นาที
- ทำการวัดปริมาณน้ำ Condensate ระหว่างการฆ่าเชื้อ

ตารางที่ 3 : แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate

ที่เวลา (min)	0	5	10	15	20	26
Batch 1 (kg / min)	0	1.45	1.55	1.05	0.75	0.45

ก.2 การศึกษาและการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตว่านหางจระเข้ในน้ำเปล่า บรรจุกระป๋อง ขนาด 603 x 700

ก.2.1 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เครื่องลวกแบบใช้น้ำร้อน (Hot-water Blancher)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์ (p) เท่ากับ 6.5 kg/cm^2
- น้ำหนักผลิตภัณฑ์ต่อ batch (m_p) เท่ากับ 400 kg/batch
- ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Cp) เท่ากับ 4.175 kJ/kg.K (ค่า Cp ของน้ำที่ 30°C)
- อุณหภูมิขาเข้าอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 30°C
- อุณหภูมิขาออกจากอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 90°C
- เอนทาลปีของการกลายเป็นไอ เท่ากับ 2,771.15 kJ/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนรูของ Steam spreader เท่ากับ 5 mm จำนวน 53 รู
- ใช้เวลาประมาณ 15 นาที / การทำงาน 1 ครั้ง

ก.2.2 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่รางไล่อากาศ หมายเลข 5

- อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ (m) เท่ากับ 43,550 kg/hr
- ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Cp) เท่ากับ 3.545 kJ/kg.K
- อุณหภูมิขาเข้าอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 35°C
- อุณหภูมิขาออกจากอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 85°C
- เอนทาลปีของการกลายเป็นไอ เท่ากับ 2,771.15 kJ/kg

ก.2.3 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No.1-5)

ก.1.3.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 0.2 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 1.414 m^3/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนรูของ Steam spreader เท่ากับ 3/16 นิ้ว หรือ 4.76 mm จำนวน 214 รู
- อุณหภูมิที่ใช้ในการไล่อากาศ เท่ากับ 103°C เป็นเวลา 5 นาที

ก.1.3.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 0.2 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 1.414 m^3/kg

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนของ Bleeder เท่ากับ 1/16 นิ้ว หรือ 3.175 mm จำนวน 6 อัน
- อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ เท่ากับ 103°C เป็นเวลา 31 นาที
- ทำการวัดปริมาณน้ำ Condensate ระหว่างการฆ่าเชื้อ

ตารางที่ 4 : แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate

ที่เวลา (min)	0	5	10	15	20	25	31
Batch 1 (kg / min)	0	1.05	1.65	1.20	0.70	0.55	0.40

ก.3 <u>การศึกษาและการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋อง ขนาด 603 x 700</u>

ก.3.1 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เครื่องลวกแบบใช้ไอน้ำ (Steam Blancher)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์ (p) เท่ากับ 6.8 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์มาเปิดตาราง เท่ากับ 0.219 m^3/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนรูของ Steam spreader เท่ากับ 2 mm จำนวน 514 รู

ก.3.2 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่รางไล่อากาศ หมายเลข 1

- อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ (m) เท่ากับ 38,993 kg/hr
- ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Cp) เท่ากับ 3.545 kJ/kg.K
- อุณหภูมิขาเข้าอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 36°C
- อุณหภูมิขาออกจากอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 85°C
- เอนทาลปีของการกลายเป็นไอ เท่ากับ 2,771.15 kJ/kg

ก.3.3 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No.1-5)

ก.3.3.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 0.4 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 1.225 m^3/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนรูของ Steam spreader เท่ากับ 3/16 นิ้ว หรือ 4.76 mm จำนวน 214 รู
- อุณหภูมิที่ใช้ในการไล่อากาศ เท่ากับ 108°C เป็นเวลา 10 นาที

ก.1.3.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 0.7 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 0.665 m^3/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนของ Bleeder เท่ากับ 1/16 นิ้ว หรือ 3.175 mm จำนวน 6 อัน

- อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ เท่ากับ 129°C เป็นเวลา 14 นาที
- ทำการวัดปริมาณน้ำ Condensate ระหว่างการฆ่าเชื้อ

ตารางที่ 5 : แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate

ที่เวลา (min)	0	5	10	14
Batch 1 (kg / min)	0	5.90	1.40	0.75

ก.4 การศึกษาและการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตถั่วงอกในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308

ก.4.1 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เครื่องลวกแบบใช้น้ำร้อน (Hot-water Blancher)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์ (p) เท่ากับ 7.0 kg/cm^2
- น้ำหนักผลิตภัณฑ์ต่อ batch (m_p) เท่ากับ 600 kg/batch
- ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Cp) เท่ากับ 4.175 kJ/kg.K (ค่า Cp ของน้ำที่ 30°C)
- อุณหภูมิขาเข้าอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 30°C
- อุณหภูมิขาออกจากอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 100°C
- เอนทาลปีของการกลายเป็นไอ เท่ากับ 2,771.15 kJ/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนรูของ Steam spreader เท่ากับ 5 mm จำนวน 81 รู
- ใช้เวลาประมาณ 20 นาที / การทำงาน 1 ครั้ง

ก.4.2 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่รางไล่อากาศ หมายเลข 2

- อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ (m) เท่ากับ 35,011 kg/hr
- ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Cp) เท่ากับ 3.545 kJ/kg.K
- อุณหภูมิขาเข้าอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 36°C
- อุณหภูมิขาออกจากอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 85°C
- เอนทาลปีของการกลายเป็นไอ เท่ากับ 2,771.15 kJ/kg

ก.4.3 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No.6-7)

ก.4.3.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 0.2 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 1.414 m^3/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนรูของ Steam spreader เท่ากับ 3/16 นิ้ว หรือ 4.76 mm จำนวน 96 รู
- อุณหภูมิที่ใช้ในการไล่อากาศ เท่ากับ 102°C เป็นเวลา 5 นาที

ก.4.3.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 0.2 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 1.414 m^3/kg

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนของ Bleeder เท่ากับ 1/16 นิ้ว หรือ 3.175 mm จำนวน 2 อัน
- อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ เท่ากับ 102°C เป็นเวลา 15 นาที
- ทำการวัดปริมาณน้ำ Condensate ระหว่างการฆ่าเชื้อ

ตารางที่ 6 : แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate

ที่เวลา (min)	0	5	10	15
Batch 1 (kg / min)	0	1.80	1.20	0.55

ก.5 <u>การศึกษาและการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตแครอทในน้ำเกลือผสมน้ำตาล บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700</u>

ก.5.1 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เครื่องลวกแบบใช้น้ำร้อน (Hot-water Blancher)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่อุปกรณ์ (p) เท่ากับ 7.0 kg/cm^2
- น้ำหนักผลิตภัณฑ์ต่อ batch (m_p) เท่ากับ 600 kg/batch
- ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Cp) เท่ากับ 4.175 kJ/kg.K (ค่า Cp ของน้ำที่ 30°C)
- อุณหภูมิขาเข้าอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 30°C
- อุณหภูมิขาออกจากอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 100°C
- เอนทาลปีของการกลายเป็นไอ เท่ากับ 2,771.15 kJ/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนรูของ Steam spreader เท่ากับ 5 mm จำนวน 81 รู
- ใช้เวลาประมาณ 20 นาที / การทำงาน 1 ครั้ง

ก.5.2 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่รางไล่อากาศ หมายเลข 5

- อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ (m) เท่ากับ 34,236.8 kg/hr
- ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Cp) เท่ากับ 3.545 kJ/kg.K
- อุณหภูมิขาเข้าอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 40°C
- อุณหภูมิขาออกจากอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 85°C
- เอนทาลปีของการกลายเป็นไอ เท่ากับ 2,771.15 kJ/kg

ก.5.3 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No.1-5)

ก.5.3.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 1.0 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 0.881 m^3/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนรูของ Steam spreader เท่ากับ 3/16 นิ้ว หรือ 4.76 mm จำนวน 214 รู
- อุณหภูมิที่ใช้ในการไล่อากาศ เท่ากับ 117°C เป็นเวลา 10 นาที

ก.5.3.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 1.0 kg/cm^2

- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 0.881 m^3/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนของ Bleeder เท่ากับ 1/16 นิ้ว หรือ 3.175 mm จำนวน 6 อัน
- อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ เท่ากับ 117°C เป็นเวลา 41 นาที
- ทำการวัดปริมาณน้ำ Condensate ระหว่างการฆ่าเชื้อ

ตารางที่ 7 : แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate

ที่เวลา (min)	0	5	10	15	20	25	30	35	41
Batch 1 (kg / min)	0	1.02	1.25	1.25	1.45	1.40	1.10	0.70	0.60

ก.6 <u>การศึกษาและการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตมะละกอในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 300 x 407</u>

ก.6.1 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่รางไล่อากาศ หมายเลข 4

- อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ (m) เท่ากับ 34,236.8 kg/hr
- ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Cp) เท่ากับ 3.545 kJ/kg.K
- อุณหภูมิขาเข้าอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 36°C
- อุณหภูมิขาออกจากอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 85°C
- เอนทาลปีของการกลายเป็นไอ เท่ากับ 2,771.15 kJ/kg

ก.6.2 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No.6-7)

ก.6.2.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 0.2 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 1.414 m^3/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนรูของ Steam spreader เท่ากับ 3/16 นิ้ว หรือ 4.76 mm จำนวน 96 รู
- อุณหภูมิที่ใช้ในการไล่อากาศ เท่ากับ 102°C เป็นเวลา 5 นาที

ก.1.3.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 0.2 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 1.414 m^3/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนของ Bleeder เท่ากับ 1/16 นิ้ว หรือ 3.175 mm จำนวน 2 อัน
- อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ เท่ากับ 102°C เป็นเวลา 15 นาที
- ทำการวัดปริมาณน้ำ Condensate ระหว่างการฆ่าเชื้อ

ตารางที่ 8 : แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate

ที่เวลา (min)	0	5	10	15
Batch 1 (kg / min)	0	1.25	1.0	0.75

ก.7 การศึกษาและการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำและเนื้อเสาวรส บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308

ก.7.1 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่หม้อต้มสองชั้น (Kettle)

- ความดันของไอน้ำในท่อส่งไอน้ำเข้าอุปกรณ์ เท่ากับ 0.5 bar
- น้ำหนักผลิตภัณฑ์ต่อ batch (m_p) เท่ากับ 400 kg/batch
- ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Cp) เท่ากับ 3.545 kJ/kg.K
- อุณหภูมิขาเข้าอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 35°C
- อุณหภูมิขาออกจากอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 80°C
- เอนทาลปีของการกลายเป็นไอ เท่ากับ 2,771.15 kJ/kg

ก.7.2 ศึกษาและประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No.6-7)

ก.7.2.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 0.2 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 1.414 m^3/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนรูของ Steam spreader เท่ากับ 3/16 นิ้ว หรือ 4.76 mm จำนวน 96 รู
- อุณหภูมิที่ใช้ในการไล่อากาศ เท่ากับ 102°C เป็นเวลา 5 นาที

ก.1.3.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

- ความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (p) เท่ากับ 0.2 kg/cm^2
- ค่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (v) หาได้จากการนำค่าความดันไอน้ำในท่อส่งไอน้ำที่เข้าสู่ Retort มาเปิดตาราง เท่ากับ 1.414 m^3/kg
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)และจำนวนของ Bleeder เท่ากับ 1/16 นิ้ว หรือ 3.175 mm จำนวน 2 อัน
- อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ เท่ากับ 102°C เป็นเวลา 20 นาที
- ทำการวัดปริมาณน้ำ Condensate ระหว่างการฆ่าเชื้อ

ตารางที่ 9 : แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำ Condensate

ที่เวลา (min)	0	5	10	15	20
Batch 1 (kg/min)	0	1.10	1.25	0.95	0.70

ภาคผนวก ข.

วิธีการคำนวณ

ข.1 <u>วิธีการคำนวณค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์</u>

ข.1.1 ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้

จากสมการ $C_f = (C_w - C_D)X_w + C_D$

$= (2,500)\ 0.75 + 1,670$

$= 3,545$ J / kg.K

$= 3.545$ kJ / kg.K

ข.1.2 สำหรับเครื่องดื่มชาจีน การคำนวณค่าความร้อนจำเพาะจะจัดอยู่ในกลุ่มของอาหาร (Food)

จากสมการ $C_f = (C_w - C_D)X_w + C_D$

$= (3,349)\ 1.0 + 837$

$= 4,186$ J / kg.K

$= 4.186$ kJ / kg.K

ข.2 <u>วิธีการคำนวณการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มชาจีนอูลอง บรรจุกระป๋องขนาดบรรจุ 250 cm^3</u>

ข.2.1 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Tubular Heat Exchanger)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัสดุไม่มีการเปลี่ยนสถานะ

จากสมการ $m_p c_p \Delta T = m_s h_{fg}$

(2,000 kg/batch) (4.175 kJ/kg.K) (64 K) $= m_s$ (2,771.15 kJ/kg)

$m_s = 192.84$ kg steam / batch

เนื่องจาก Steam ที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีคุณภาพ เท่ากับ 97.86%

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ $= 192.84 / 0.9786$

$= 197$ kg steam / batch

เวลาดำเนินงาน ต่อ 1 batch เท่ากับ 20 นาที

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ $= 591$ kg steam / hr

ข.2.2 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัสดุไม่มีการเปลี่ยนสถานะ

จากสมการ $m_p c_p \Delta T = m_s h_{fg}$

(1,800 kg/batch) (4.186 kJ/kg.K) (48 K) $= m_s$ (2,771.15 kJ/kg)

$m_s = 130.51$ kg steam / batch

เนื่องจาก Steam ที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีคุณภาพ เท่ากับ 97.86%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 130.51 / 0.9786

= 133.36 kg steam / batch

เวลาดำเนินงาน ต่อ 1 batch เท่ากับ 45 นาที

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 177.81 kg steam / hr

ข.2.3 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No. 1-5)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำที่สูญเสียเนื่องจากรูรั่ว ร่วมกับการวัดปริมาณน้ำ Condensate โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

ข.2.3.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

จากสมการ $G = 0.5626\ D^2 \sqrt{p / v}$

$= 0.5626\ (4.76\ mm.)\sqrt{(0.5\ kg/cm^2 / 1.149\ m^3/kg}$

= 8.41 kg steam / hr / 1 รู

= 1,799.74 kg steam / hr / 214 รู

ข.2.3.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

จากสมการ $G = 0.5626\ D^2 \sqrt{p / v}$

$= 0.5626\ (3.175\ mm.)\sqrt{(1.0\ kg/cm^2 / 0.881\ m^3/kg}$

= 6.04 kg steam / hr / 1 อัน

= 36.24 kg steam / hr / 6 อัน

- การวัดปริมาณน้ำ Condensate

นำปริมาณน้ำ Condensate ที่วัดได้มาทำการ Plot กราฟ (ภาคผนวก ค.) และหาพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้กฎ Simpson ดังสมการ

พื้นที่ใต้กราฟ = $h/3\ [\ y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + \ldots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + \ldots + y_{n-2}) + y_n]$

พื้นที่ใต้กราฟ = $h/3\ [\ y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + y_7 + y_9 + y_{11} + y_{12}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + y_8 + y_{10} + y_{11}) + y_{13}]$

$= (\ 26 - 0 / 13\ ) / 3\ [\ 0 + 4\ (5.7+14.7+15.6+11.6+8.7+6.5+5.6) + 2(11.7+15.1+13.6+10+7.5+6.5) + 4.6\ ]$

$= 271.33\ cm^2$

กราฟนี้มีอัตราส่วน $23.4\ cm^2$ = 1.16 kg

ดังนั้น ปริมาณน้ำ Condensate = $\dfrac{(\ 271.33\ cm^2 \times 1.16\ kg\ )}{23.4\ cm^2}$

= 13.45 kg steam / batch

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ Retort ใช้ทั้งหมด = ปริมาณไอน้ำช่วงการไล่อากาศ + ปริมาณไอน้ำช่วงการฆ่าเชื้อ

= 1,799.74 + [36.24 + 13.45]

= 1,849.43 kg steam / batch

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ข.3 <u>วิธีการคำนวณการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตว่านหางจระเข้ในน้ำเปล่า บรรจุกระป๋อง ขนาด 603 x 700</u>

ข.3.1 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เครื่องลวกแบบใช้น้ำร้อน (Hot-water Blancher)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัสดุไม่มีการเปลี่ยนสถานะ จากสมการ

$$m_p c_p \Delta T = m_s h_{fg}$$

$$(400 \text{ kg/batch}) (4.175 \text{ kJ/kg.K}) (60 \text{ K}) = m_s (2{,}771.15 \text{ kJ/kg})$$

$$m_s = 36.16 \text{ kg steam / batch}$$

เนื่องจาก Steam ที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีคุณภาพ เท่ากับ 97.86%

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 36.16 / 0.9786

= 36.95 kg steam / batch

เวลาดำเนินงาน ต่อ 1 batch เท่ากับ 15 นาที

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 147.8 kg steam / hr

ข.3.2 การประเมินปริมาณไอน้ำเข้าสู่รางไล่อากาศ (Exhaust Box no. 5)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัสดุไม่มีการเปลี่ยนสถานะ จากสมการ

$$q = mc_p \Delta T$$

$$= (43{,}550 \text{ kg/hr})(3.545 \text{ kJ/kg.K})(50 \text{ K})$$

$$= 7{,}719{,}237.5 \text{ kJ/hr}$$

และ $q_s = \dot{m}_s H_s$

$$7{,}719{,}237.5 \text{ kJ/hr} = \dot{m}_s (2{,}771.15 \text{ kJ/kg})$$

$$\dot{m}_s = 7{,}719{,}237.5 \text{ kJ/hr} / 2{,}727.51 \text{ kJ/kg}$$

$$= 2{,}785.57 \text{ kg steam / hr}$$

เนื่องจาก Steam ที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีคุณภาพ เท่ากับ 97.86%

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 2,785.57 / 0.9786

= 2,846 kg steam / batch

ข.3.3 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No. 1-5)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำที่สูญเสียเนื่องจากรูรั่ว ร่วมกับการวัดปริมาณน้ำ Condensate โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

ข.3.3.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

จากสมการ $G = 0.5626 D^2 \sqrt{p / v}$

$$= 0.5626 (4.76 \text{ mm.}) \sqrt{(0.2 \text{ kg/cm}^2 / 1.414 \text{ m}^3/\text{kg}}$$

$$= 4.79 \text{ kg steam / hr / 1 รู}$$

= 1,025.06 kg steam / hr / 214 รู

ข.3.3.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

จากสมการ $G = 0.5626\ D^2 \sqrt{p / v}$

$= 0.5626\ (3.175\ mm.)\sqrt{(0.2\ kg/cm^2 / 1.414\ m^3/kg}$

= 2.13 kg steam / hr / 1 อัน

= 12.78 kg steam / hr / 6 อัน

- การวัดปริมาณน้ำ Condensate

นำปริมาณน้ำ Condensate ที่วัดได้มาทำการ Plot กราฟ (ภาคผนวก ค.) และหาพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้กฎ Simpson ดังสมการ

พื้นที่ใต้กราฟ $= h/3\ [\ y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + \ldots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + \ldots + y_{n-2}) + y_n]$

พื้นที่ใต้กราฟ $= h/3\ [\ y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + y_7 + y_9 + y_{11} + y_{13}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + y_8 + y_{10} + y_{12}) + y_{14}]$

$= (\ 15.5 - 0 / 14\ ) / 3\ [\ 0 + 4\ (4.5+12.4+15.6+11.6+7.2+5.7+4.6) + 2(9.2+15+13.6+9.4+6.4+5.1) + 4\ ]$

$= 135.73\ cm^2$

กราฟนี้มีอัตราส่วน $10.12\ cm^2$ = 0.92 kg

ดังนั้น ปริมาณน้ำ Condensate $= \dfrac{(\ 135.73\ cm^2 \times 0.92\ kg\ )}{10.12\ cm^2}$

= 12.34 kg steam / batch

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ Retort ใช้ทั้งหมด = ปริมาณไอน้ำช่วงการไล่อากาศ + ปริมาณไอน้ำช่วงการฆ่าเชื้อ

= 1,025.06 + [12.78 + 10.12]

= 1,047.96 kg steam / batch

ข.4 <u>วิธีการคำนวณการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700</u>

ข.4.1 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เครื่องลวกแบบใช้ไอน้ำ (Steam Blancher)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำที่สูญเสียเนื่องจากรูรั่ว ดังสมการ

$G = 0.5626\ D^2 \sqrt{p / v}$

$= 0.5626\ (2\ mm.)\sqrt{(6.8\ kg/cm^2 / 0.219\ m^3/kg}$

= 12.54 kg steam / hr / 1 รู

= 6,445.56 kg steam / hr / 514 รู

ข.4.2 การประเมินปริมาณไอน้ำเข้าสู่รางไล่อากาศ (Exhaust Box no. 1)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัสดุไม่มีการเปลี่ยนสถานะ

จากสมการ

$q = mc_p\Delta T$

$= (38{,}993\ kg/hr)(3.545\ kJ/kg.K)(50\ K)$

$= 6{,}773{,}279.065\ kJ/hr$

และ $q_s = \dot{m}_s H_s$

$6{,}773{,}279.065\ kJ/hr = \dot{m}_s (2{,}771.15\ kJ/kg)$

$m_s = 6{,}773{,}279.065\ kJ/hr / 2{,}727.51\ kJ/kg$

$= 2{,}444.21$ kg steam / hr

เนื่องจาก Steam ที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีคุณภาพ เท่ากับ 97.86%

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ $= 2{,}444.21 / 0.9786$

$= 2{,}497.66$ kg steam / batch

ข.4.3 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No. 1-5)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำที่สูญเสียเนื่องจากรูรั่ว ร่วมกับการวัดปริมาณน้ำ Condensate โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

ข.4.3.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

จากสมการ $G = 0.5626\ D^2 \sqrt{p / v}$

$= 0.5626\ (4.76\ mm.)\sqrt{(0.4\ kg/cm^2 / 1.225\ m^3/kg}$

$= 7.28$ kg steam / hr / 1 รู

$= 1{,}557.92$ kg steam / hr / 214 รู

ข.4.3.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

จากสมการ $G = 0.5626\ D^2 \sqrt{p / v}$

$= 0.5626\ (3.175\ mm.)\sqrt{(1.7\ kg/cm^2 / 0.665\ m^3/kg}$

$= 9.07$ kg steam / hr / 1 อัน

$= 54.42$ kg steam / hr / 6 อัน

- การวัดปริมาณน้ำ Condensate

นำปริมาณน้ำ Condensate ที่วัดได้มาทำการ Plot กราฟ (ภาคผนวก ค.) และหาพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้กฎ Simpson ดังสมการ

พื้นที่ใต้กราฟ $= h/3\ [\ y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + \ldots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + \ldots + y_{n-2}) + y_n]$

พื้นที่ใต้กราฟ $= h/3\ [\ y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + y_7 + y_9 + y_{11} + y_{13}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + y_8 + y_{10} + y_{12}) + y_{14}]$

$= (14 - 0 / 14) / 3\ [\ 0 + 4\ (2.4+7.2+11.9+8.2+4.7+2.6+2) + 2(4.8+9.5+10+6.5+2.9+2.3) + 1.7\ ]$

$= 76.57\ cm^2$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กราฟนี้มีอัตราส่วน $10.8\ cm^2$ = 3.52 kg

ดังนั้น ปริมาณน้ำ Condensate = $\frac{(76.57\ cm^2 \times 3.52\ kg)}{10.8\ cm^2}$

= 24.96 kg steam / batch

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ Retort ใช้ทั้งหมด = ปริมาณไอน้ำช่วงการไล่อากาศ + ปริมาณไอน้ำช่วงการฆ่าเชื้อ

= 1,557.92 + [54.42 + 24.96]

= 1,637.3 kg steam / batch

ข.5 <u>วิธีการคำนวณการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตถั่วงอกในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308</u>

ข.5.1 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เครื่องลวกแบบใช้น้ำร้อน (Hot-water Blancher)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัสดุไม่มีการเปลี่ยนสถานะ จากสมการ

$m_p c_p \Delta T = m_s h_{fg}$

(600 kg/batch) (4.175 kJ/kg.K) (70 K) = m_s (2,771.15 kJ/kg)

m_s = 63.28 kg steam / batch

เนื่องจาก Steam ที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีคุณภาพ เท่ากับ 97.86%

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 63.28 / 0.9786

= 64.66 kg steam / batch

เวลาดำเนินงาน ต่อ 1 batch เท่ากับ 20 นาที

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 193.98 kg steam / hr

ข.5.2 การประเมินปริมาณไอน้ำเข้าสู่รางไล่อากาศ (Exhaust Box no. 2)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัสดุไม่มีการเปลี่ยนสถานะ จากสมการ

$q = mc_p \Delta T$

= (35,011 kg/hr)(3.545 kJ/kg.K)(49 K)

= 6,081,585.755 kJ/hr

และ $q_s = \dot{m}_s H_s$

6,081,585.755 kJ/hr = $\dot{m}_s$ (2,771.15 kJ/kg)

$\dot{m}_s$ = 6,081,585.755 kJ/hr / 2,727.51 kJ/kg

= 2,194.61 kg steam / hr

เนื่องจาก Steam ที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีคุณภาพ เท่ากับ 97.86%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 2,194.61 / 0.9786

= 2,242.60 kg steam / batch

ข.5.3 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No. 6-7)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำที่สูญเสียเนื่องจากรูรั่ว ร่วมกับการวัดปริมาณน้ำ Condensate โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

ข.5.3.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

จากสมการ $G = 0.5626\ D^2 \sqrt{p / v}$

$= 0.5626\ (4.76\ mm.)\sqrt{(0.2\ kg/cm^2 / 1.414\ m^3/kg}$

= 4.79 kg steam / hr / 1 รู

= 459.84 kg steam / hr / 96 รู

ข.5.3.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

จากสมการ $G = 0.5626\ D^2 \sqrt{p / v}$

$= 0.5626\ (3.175\ mm.)\sqrt{(0.2\ kg/cm^2 / 1.414\ m^3/kg}$

= 2.13 kg steam / hr / 1 อัน

= 4.26 kg steam / hr / 2 อัน

- การวัดปริมาณน้ำ Condensate

นำปริมาณน้ำ Condensate ที่วัดได้มาทำการ Plot กราฟ (ภาคผนวก ค.) และหาพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้กฎ Simpson ดังสมการ

พื้นที่ใต้กราฟ $= h/3\ [\ y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + \ldots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + \ldots + y_{n-2}) + y_n]$

พื้นที่ใต้กราฟ $= h/3\ [\ y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + y_7 + y_9) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + y_8) + y_{10}]$

$= (\ 15 - 0 / 10\ ) / 3\ [\ 0 + 4\ (4.3+12.6+11+7.3+3.4) +$

$2(8.4+12.8+9.2+5.3) + 1.5\ ]$

$= 113.65\ cm^2$

กราฟนี้มีอัตราส่วน $12.6\ cm^2 = 1.24\ kg$

ดังนั้น ปริมาณน้ำ Condensate $= \dfrac{(113.65\ cm^2 \times 1.24\ kg)}{12.6\ cm^2}$

= 11.18 kg steam / batch

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ Retort ใช้ทั้งหมด = ปริมาณไอน้ำช่วงการไล่อากาศ + ปริมาณไอน้ำช่วงการฆ่าเชื้อ

= 459.84 + [4.26 + 11.18]

= 475.28 kg steam / batch

ข.6 วิธีการคำนวณการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตแครอทในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700

ข.6.1 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เครื่องลวกแบบใช้น้ำร้อน (Hot-water Blancher)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัสดุไม่มีการเปลี่ยนสถานะ จากสมการ

$$m_p c_p \Delta T = m_s h_{fg}$$

$$(600 \text{ kg/batch}) (4.175 \text{ kJ/kg.K}) (70 \text{ K}) = m_s (2{,}771.15 \text{ kJ/kg})$$

$$m_s = 63.28 \text{ kg steam / batch}$$

เนื่องจาก Steam ที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีคุณภาพ เท่ากับ 97.86%

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 63.28 / 0.9786

= 64.66 kg steam / batch

เวลาดำเนินงาน ต่อ 1 batch เท่ากับ 20 นาที

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 193.98 kg steam / hr

ข.6.2 การประเมินปริมาณไอน้ำเข้าสู่รางไล่อากาศ (Exhaust Box no. 5)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัสดุไม่มีการเปลี่ยนสถานะ จากสมการ

$$q = mc_p \Delta T$$

$$= (35{,}976 \text{ kg/hr})(3.545 \text{ kJ/kg.K})(45 \text{ K})$$

$$= 5{,}739{,}071.4 \text{ kJ/hr}$$

และ $q_s = \dot{m}_s H_s$

$$5{,}739{,}071.4 \text{ kJ/hr} = \dot{m}_s (2{,}771.15 \text{ kJ/kg})$$

$$\dot{m}_s = 5{,}739{,}071.4 \text{ kJ/hr} / 2{,}771.15 \text{ kJ/kg}$$

$$= 2{,}071 \text{ kg steam / hr}$$

เนื่องจาก Steam ที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีคุณภาพ เท่ากับ 97.86%

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 2,071 / 0.9786

= 2,116.29 kg steam / hr

ข.6.3 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No. 1-5)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำที่สูญเสียเนื่องจากรูรั่ว ร่วมกับการวัดปริมาณน้ำ Condensate โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

ข.6.3.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

จากสมการ $G = 0.5626 D^2 \sqrt{p / v}$

$$= 0.5626 (4.76 \text{ mm.}) \sqrt{(1.0 \text{ kg/cm}^2 / 0.881 \text{ m}^3/\text{kg}}$$

$$= 13.58 \text{ kg steam / hr / 1 รู}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

= 2,906 kg steam / hr / 96 รู

ข.6.3.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

จากสมการ $G = 0.5626\ D^2 \sqrt{p / v}$

$= 0.5626\ (3.175\ mm.)\sqrt{(1.0\ kg/cm^2 / 0.881\ m^3/kg}$

$= 6.04$ kg steam / hr / 1 อัน

$= 36.24$ kg steam / hr / 2 อัน

- การวัดปริมาณน้ำ Condensate

นำปริมาณน้ำ Condensate ที่วัดได้มาทำการ Plot กราฟ (ภาคผนวก ค.) และหาพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้กฎ Simpson ดังสมการ

พื้นที่ใต้กราฟ $= h/3\ [\ y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + \ldots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + \ldots + y_{n-2}) + y_n]$

พื้นที่ใต้กราฟ $= h/3\ [\ y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + y_7 + y_9 + y_{11}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + y_8 + y_{10}) + y_{12}]$

$= (\ 20.5 - 0 / 12\ ) / 3\ [\ 0 + 4\ (4.2+8.5+9.2+10.1+6.5+2.6) + 2(7+8.5+10.4+8.7+3.8) + 2.0\ ]$

$= 138.49\ cm^2$

กราฟนี้มีอัตราส่วน $7.75\ cm^2 = 1.02$ kg

ดังนั้น ปริมาณน้ำ Condensate $= \dfrac{(\ 138.49\ cm^2 \times 1.02\ kg\ )}{7.75\ cm^2}$

$= 18.23$ kg steam / batch

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ Retort ใช้ทั้งหมด = ปริมาณไอน้ำช่วงการไล่อากาศ + ปริมาณไอน้ำช่วงการฆ่าเชื้อ

$= 2,906 + [\ 36.24 + 18.23\ ]$

$= 2960.47$ kg steam / batch

ข.7 <u>วิธีการคำนวณการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตมะละกอในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 300 x 407</u>

ข.7.1 การประเมินปริมาณไอน้ำเข้าสู่รางไล่อากาศ (Exhaust Box no. 4)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัสดุไม่มีการเปลี่ยนสถานะ

จากสมการ

$q = mc_p\Delta T$

$= (34,236.80\ kg/hr)(3.545\ kJ/kg.K)(49\ K)$

$= 5,947,103.344$ kJ/hr

และ $q_s = \dot{m}_s H_s$

$5,947,103.344\ kJ/hr = \dot{m}_s\ (2,771.15\ kJ/kg)$

$\dot{m}_s$ = 5,947,103.344 kJ/hr / 2,771.15 kJ/kg

= 2,146.10 kg steam / hr

เนื่องจาก Steam ที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีคุณภาพ เท่ากับ 97.86%

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 2,146.10 / 0.9786

= 2,193 kg steam / hr

ข.7.2 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No. 6-7)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำที่สูญเสียเนื่องจากรูรั่ว ร่วมกับการวัดปริมาณน้ำ Condensate โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

ข.7.2.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

จากสมการ $G = 0.5626\ D^2 \sqrt{p / v}$

$= 0.5626\ (4.76\ mm.)\sqrt{(0.2\ kg/cm^2 / 1.414\ m^3/kg}$

= 4.79 kg steam / hr / 1 รู

= 459.84 kg steam / hr / 96 รู

ข.7.2.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

จากสมการ $G = 0.5626\ D^2 \sqrt{p / v}$

$= 0.5626\ (3.175\ mm.)\sqrt{(0.2\ kg/cm^2 / 1.414\ m^3/kg}$

= 2.13 kg steam / hr / 1 อัน

= 4.26 kg steam / hr / 2 อัน

- การวัดปริมาณน้ำ Condensate

นำปริมาณน้ำ Condensate ที่วัดได้มาทำการ Plot กราฟ (ภาคผนวก ค.) และหาพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้กฎ Simpson ดังสมการ

พื้นที่ใต้กราฟ = $h/3\ [\ y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + \ldots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + \ldots + y_{n-2}) + y_n]$

พื้นที่ใต้กราฟ = $h/3\ [\ y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + y_7 + y_9) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + y_8) + y_{10}]$

= (15 – 0 / 10) / 3 [0 + 4 (2.2+6.7+6.2+4.7+3.2)

+ 2(4.5+7+5.5+4) + 2.5]

= 68.25 cm^2

กราฟนี้มีอัตราส่วน 15.075 cm^2 = 1.17 kg

ดังนั้น ปริมาณน้ำ Condensate = $\frac{(68.25\ cm^2 \times 1.17\ kg)}{15.075\ cm^2}$

= 5.30 kg steam / batch

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ Retort ใช้ทั้งหมด = ปริมาณไอน้ำช่วงการไล่อากาศ + ปริมาณไอน้ำช่วงการฆ่าเชื้อ

= 459.84 + [4.26 + 5.30]

= 469.4 kg steam / batch

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ข.8 วิธีการคำนวณการประเมินปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำและเนื้อเสาวรส บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308

ข.8.1 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่หม้อต้มสองชั้น (Kettle)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัสดุไม่มีการเปลี่ยนสถานะ จากสมการ

$$m_p c_p \Delta T = m_s h_{fg}$$

(500 kg/batch) (3.545 kJ/kg.K) (45 K) = m_s (2,771.15 kJ/kg)

m_s = 28.78 kg steam / batch

เนื่องจาก Steam ที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีคุณภาพ เท่ากับ 97.86%

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 28.78 / 0.9786

= 29.41 kg steam / batch

เวลาที่เครื่องทำงานต่อ batch เท่ากับ 20 นาที

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ = 88.23 kg steam / hr

ข.8.2 การประเมินปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่ Retort (No. 6-7)

ใช้สมการการหาปริมาณไอน้ำที่สูญเสียเนื่องจากรูรั่ว ร่วมกับการวัดปริมาณน้ำ Condensate โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

ข.8.2.1 ช่วงการไล่อากาศ (Venting)

จากสมการ $G = 0.5626 D^2 \sqrt{p / v}$

$= 0.5626 (4.76 \text{ mm.}) \sqrt{(0.2 \text{ kg/cm}^2 / 1.414 \text{ m}^3/\text{kg}}$

= 4.79 kg steam / hr / 1 รู

= 459.84 kg steam / hr / 96 รู

ข.8.2.2 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Sterilizing)

จากสมการ $G = 0.5626 D^2 \sqrt{p / v}$

$= 0.5626 (3.175 \text{ mm.}) \sqrt{(0.2 \text{ kg/cm}^2 / 1.414 \text{ m}^3/\text{kg}}$

= 2.13 kg steam / hr / 1 อัน

= 4.26 kg steam / hr / 2 อัน

- การวัดปริมาณน้ำ Condensate

นำปริมาณน้ำ Condensate ที่วัดได้มาทำการ Plot กราฟ (ภาคผนวก ค.) และหาพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้กฎ Simpson ดังสมการ

พื้นที่ใต้กราฟ = $h/3 [y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + \ldots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + \ldots + y_{n-2}) + y_n]$

พื้นที่ใต้กราฟ = $h/3 [y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + y_7 + y_9) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + y_8) + y_{10}]$

$= (20 - 0 / 10) / 3 [0 + 4 (3.2+8.7+11.5+6.3+4)$

$+ 2(6.4+10+8.9+4.7) + 3.5]$

$= 132.2 \text{ cm}^2$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กราฟนี้มีอัตราส่วน $12.8\ cm^2$ = 1.04 kg

ดังนั้น ปริมาณน้ำ Condensate = $\frac{(132.20\ cm^2 \times 1.04\ kg)}{12.8\ cm^2}$

= 10.74 kg steam / batch

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ Retort ใช้ทั้งหมด = ปริมาณไอน้ำช่วงการไล่อากาศ + ปริมาณไอน้ำช่วงการฆ่าเชื้อ

= 459.84 + [4.26 + 10.74]

= 474.84 kg steam / batch

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค.

กราฟการหาปริมาณน้ำ Condensate

วิธีการหาปริมาณน้ำ Condensate เป็นการนำปริมาณน้ำที่เก็บได้ในระหว่างการฆ่าเชื้อมา Plot กราฟเทียบกับเวลา โดยให้แกนนอนเป็นแกนเวลา (นาที) และแกนตั้งเป็นปริมาณน้ำ (kg) จากนั้นจึงหาพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้กฎของ Simpson ดังสมการ

พื้นที่ใต้กราฟ = $h/3\,[\,y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + \ldots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + \ldots + y_{n-2}) + y_n]$

เมื่อ h = $(b-a)/n$

$(b-a)$ = ระยะห่างระหว่าง $X=0$ ถึง $X=n$

n = จำนวนช่องที่แบ่ง

ดังนั้น การหาปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต จึงจำเป็นต้องทำการวัดปริมาณน้ำ Condensate และทำการ Plot กราฟ โดยกราฟการหาปริมาณน้ำ Condensate ประกอบด้วย

กราฟที่ 1 : แสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาจีนอูลอง บรรจุกระป๋องขนาดบรรจุ 250 cm^3

กราฟที่ 2 : แสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้ในน้ำเปล่า บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700

กราฟที่ 3 : แสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700

กราฟที่ 4 : แสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์ถั่วงอกในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308

กราฟที่ 5 : แสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์แครอทในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700

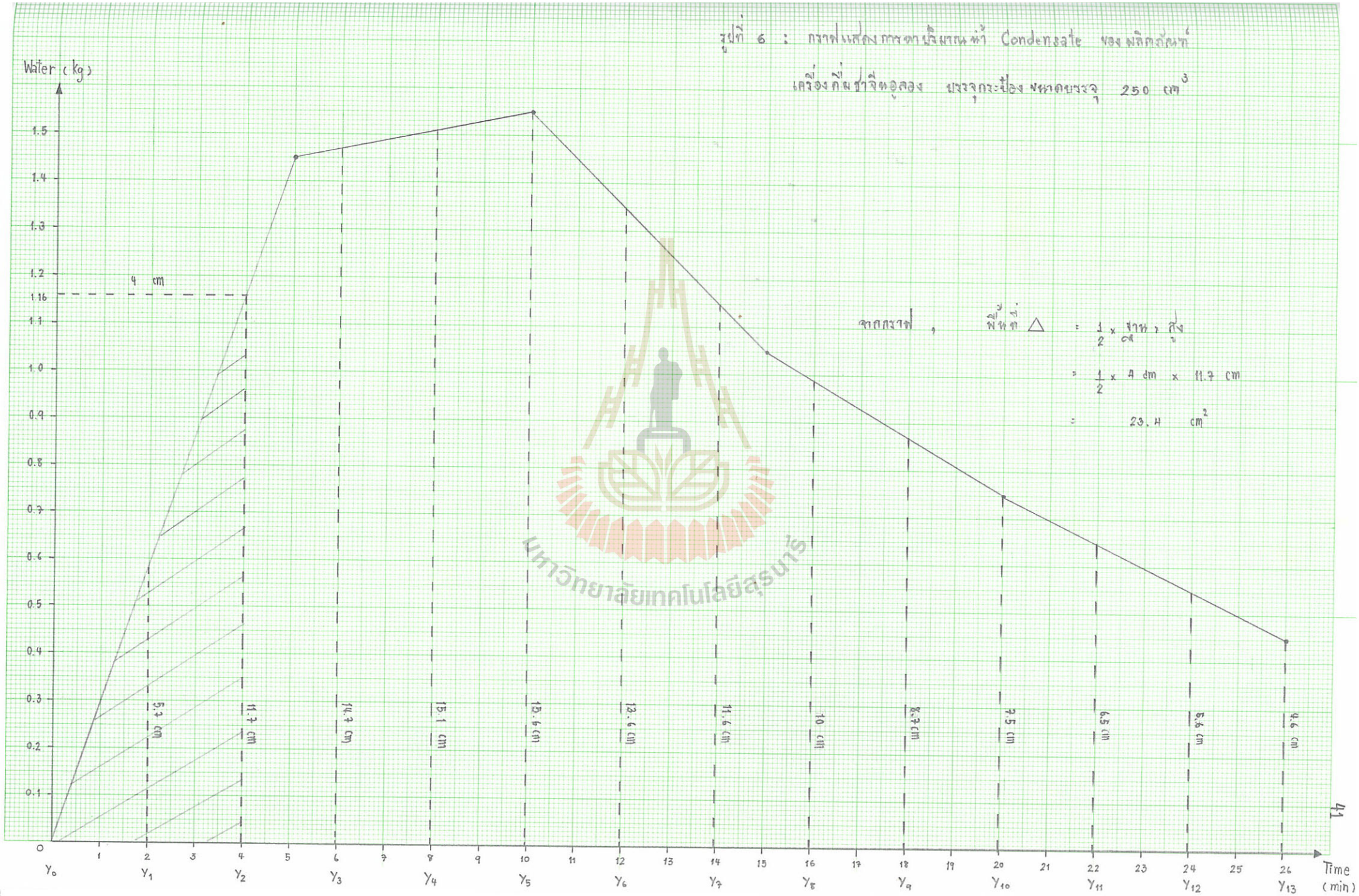
กราฟที่ 6 : แสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์มะละกอในน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 300 x 407

กราฟที่ 7 : แสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์น้ำและเนื้อเสาวรส บรรจุกระป๋องขนาด 202 x 308

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 6 : กราฟแสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์

เครื่องกึ่งปฏิบัติการ ขนาดบรรจุกระป๋อง ขนาดบรรจุ 250 cm³

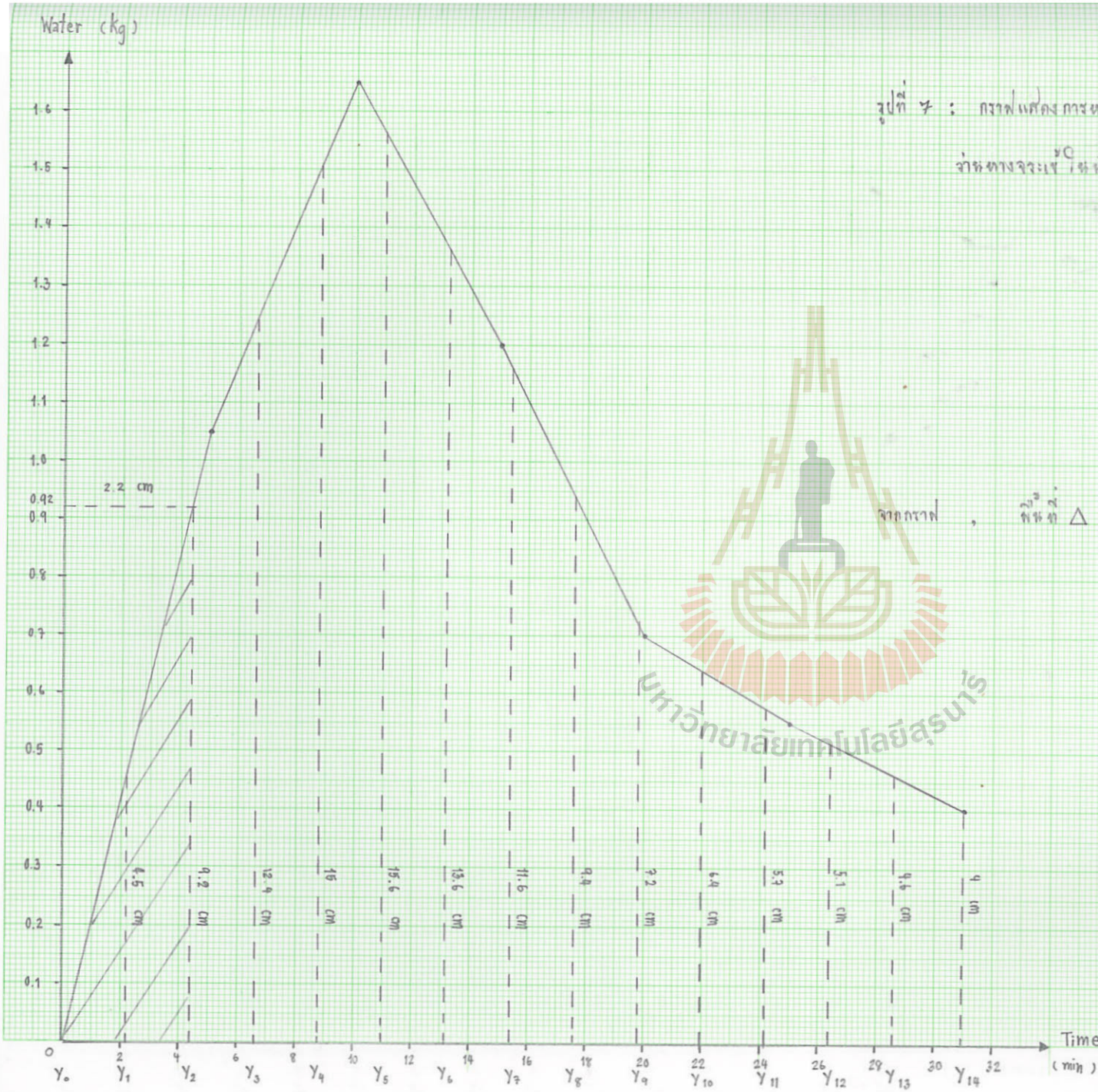


จากกราฟ , พื้นที่ $\triangle$ = $\frac{1}{2}$ x ฐาน x สูง

= $\frac{1}{2}$ x 4 dm x 11.7 cm

= 23.4 cm^2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 7 : กราฟแสดง การหา ปริมาณ น้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์

จำหน่ายจริงเช่น น้ำเปล่า บรรจุกระป๋อง ขนาด 603 x 700

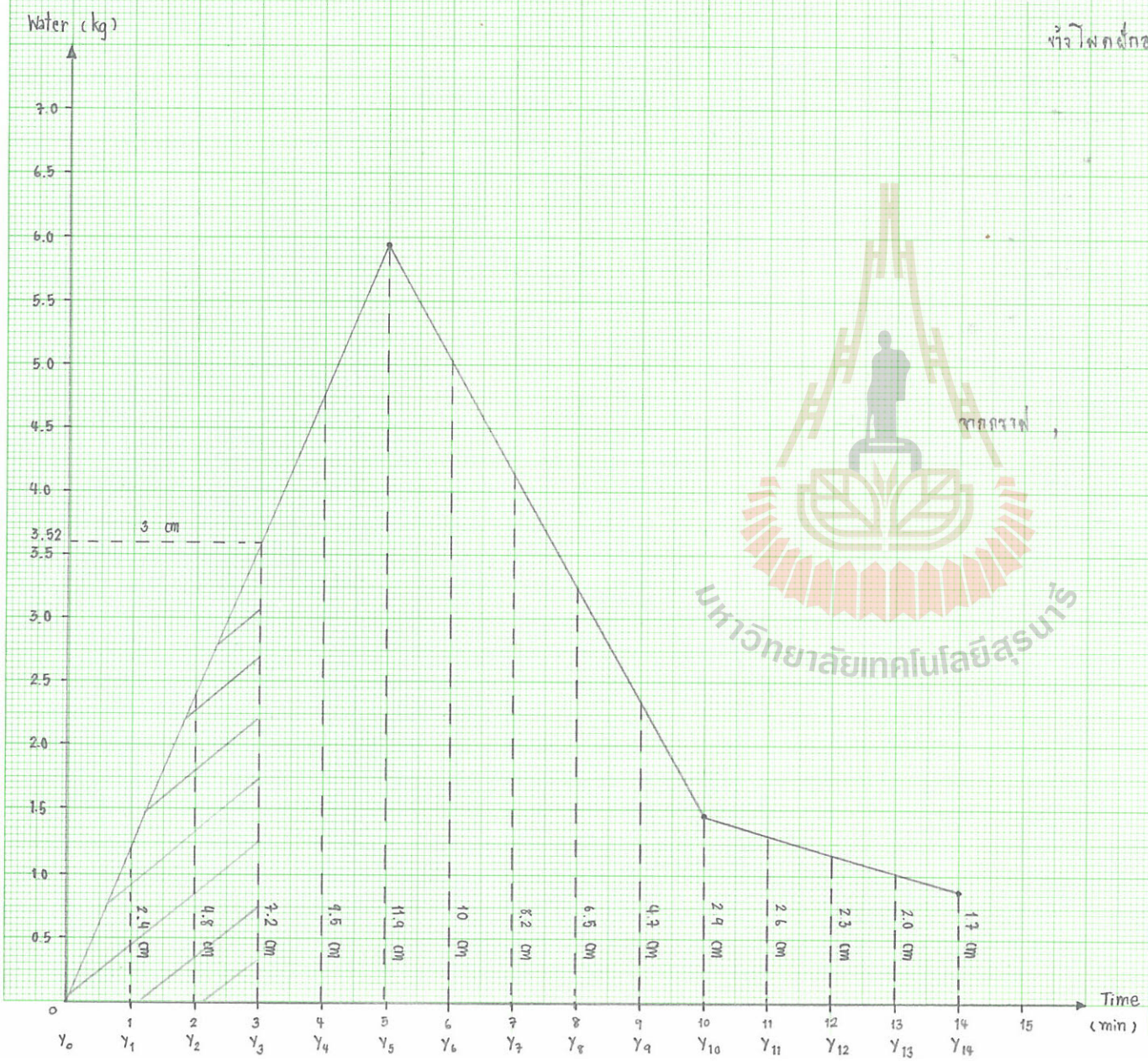
จากกราฟ , พื้นที่ Δ = $\frac{1}{2}$ x ฐาน x สูง

= $\frac{1}{2}$ x 2.2 cm x 9.2 cm

= 10.12 cm^2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาพที่ 8 : กราฟแสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋องขนาด 603 x 700



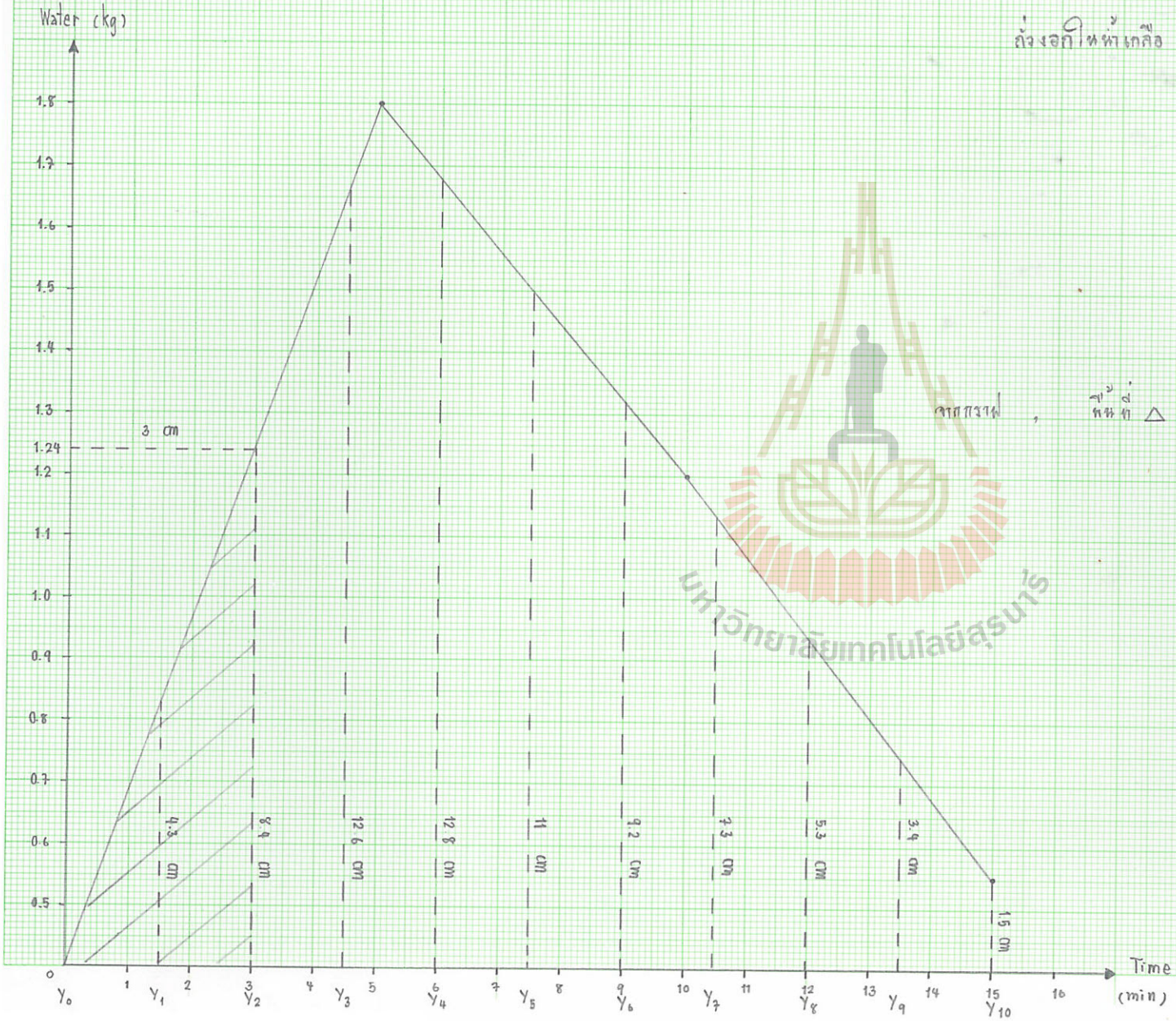
จากกราฟ , พื้นที่ $\triangle$ $= \frac{1}{2} \times$ ฐาน $\times$ สูง

$= \frac{1}{2} \times 3 \text{ cm} \times 7.2 \text{ cm}$

$= 10.8 \text{ cm}^2$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 9 : กราฟแสดง การหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์
ถั่วงอกในน้ำเกลือ บรรจุกระป๋อง ขนาด 202 x 308



จากกราฟ , หาพื้นที่ $\triangle$ = $\frac{1}{2}$ x ฐาน x สูง

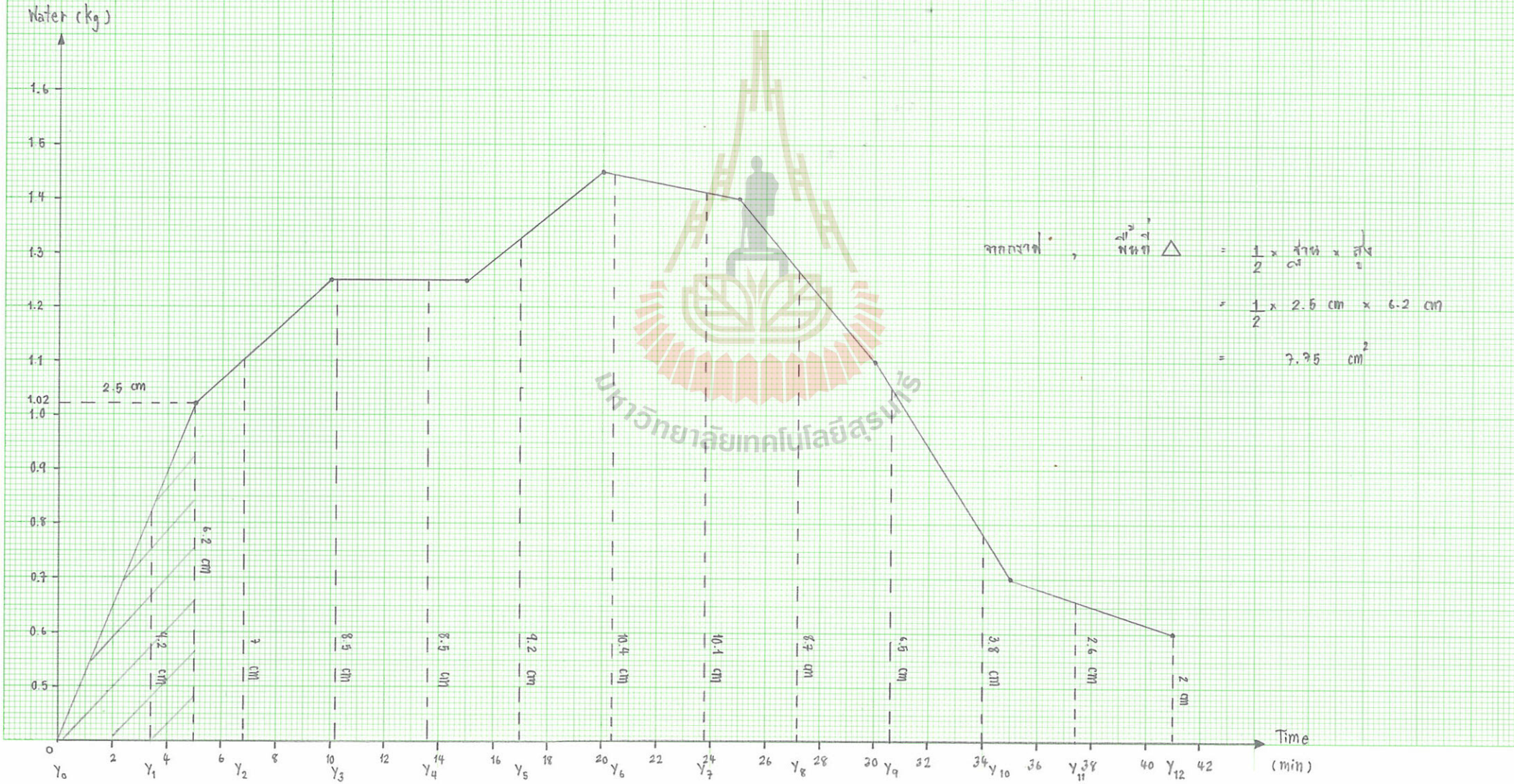
= $\frac{1}{2}$ x 3 cm x 8.4 cm

= 12.6 cm^2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 10 : กราฟแสดงการตรวจปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์

แครอทโพนำเชื่อม ขนาดกระป๋อง ขนาด 603 x 700



จากกราฟ, พื้นที่ $\triangle$ $= \frac{1}{2} \times$ ฐาน $\times$ สูง

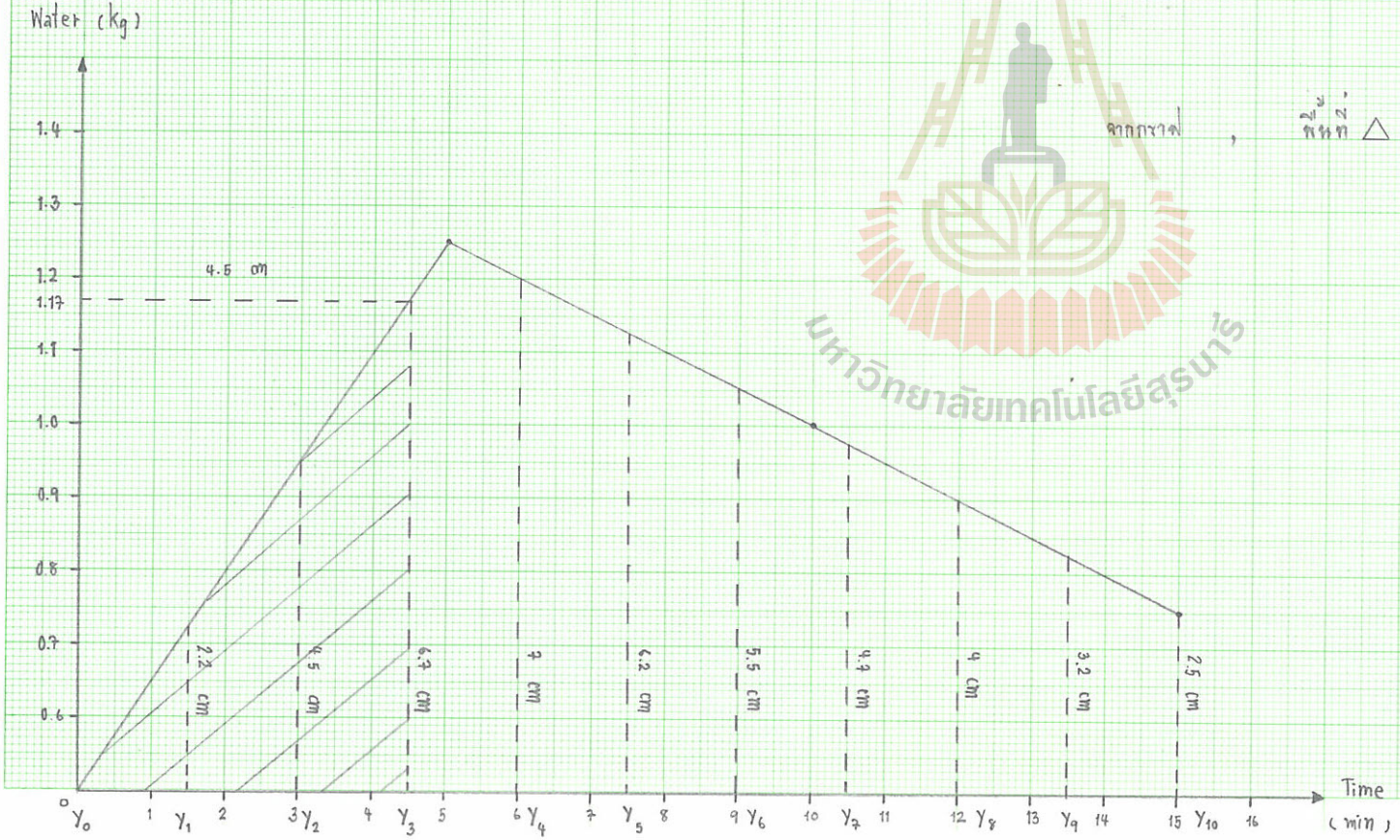
$= \frac{1}{2} \times 2.5 \text{ cm} \times 6.2 \text{ cm}$

$= 7.75 \text{ cm}^2$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 11 : กราฟแสดงการหาปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์

และถาดน้ำเชื่อม บรรจุกระป๋องขนาด 300 x 407



จากกราฟ , พื้นที่ $\triangle$ = $\frac{1}{2}$ x ฐาน x สูง

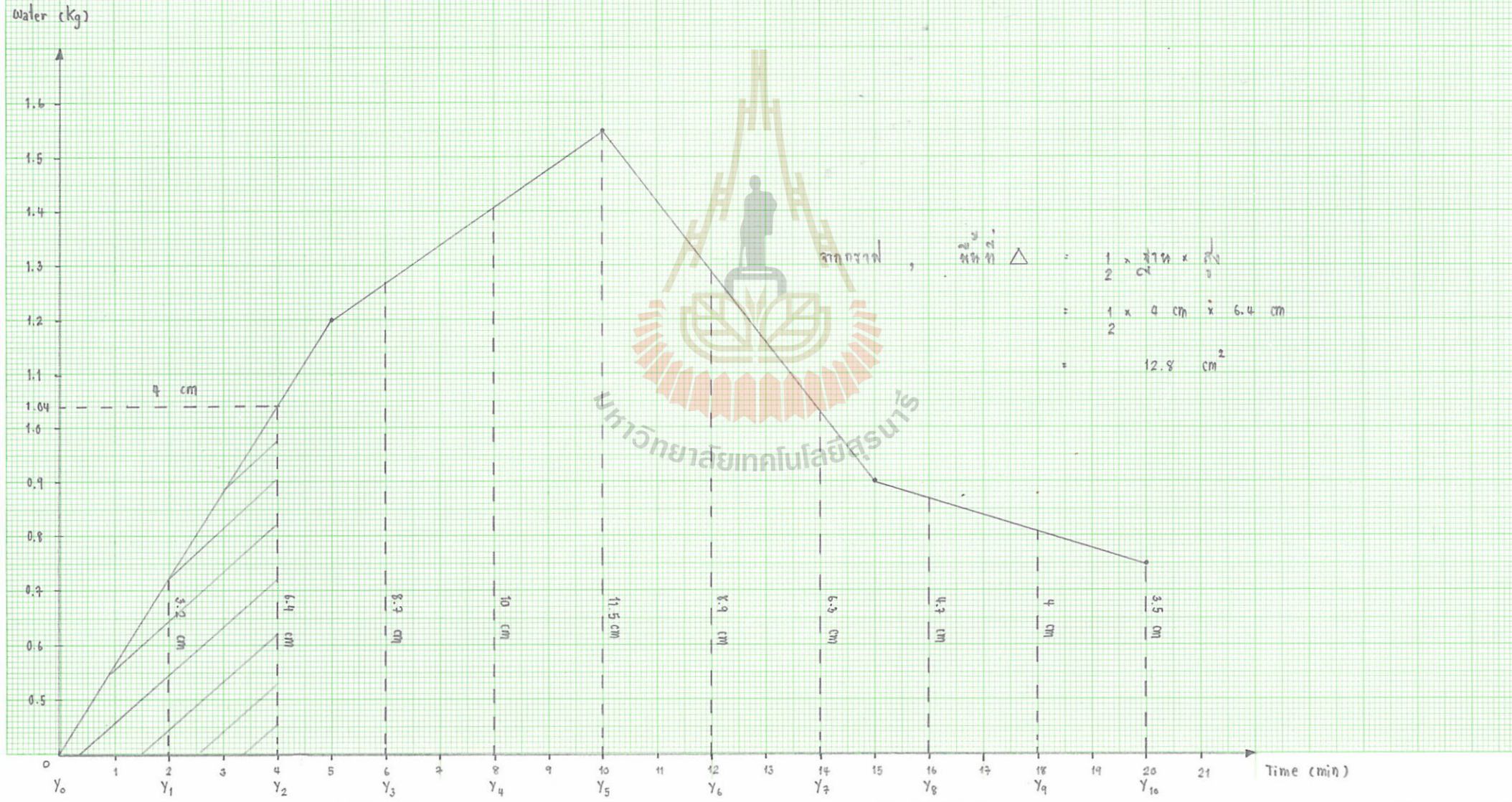
= $\frac{1}{2}$ x 4.5 cm x 6.7 cm

= 15.075 cm^2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 12 : กราฟแสดงการตรวจปริมาณน้ำ Condensate ของผลิตภัณฑ์

ห้ำ และ เนื้อเส้นจันทร์ บรรจุกระป๋อง ขนาด 202 x 308 (5.5 oz)



จากกราฟ , พื้นที่ $\triangle = \frac{1}{2} \times$ ฐาน $\times$ สูง

$= \frac{1}{2} \times 4$ cm $\times$ 6.4 cm

$= 12.8$ cm^2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ง.
ตาราง

ตารางที่ ง.1 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam)
ตารางที่ ง.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam)
ตารางที่ ง.3 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำและอากาศ (Water and Air)
ตารางที่ ง.4 ตารางแสดง Linear specific heat model of food

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ง.1 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam)

ความดันเกจ์ bar	ความดันสมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอนธาลปีจำเพาะ น้ำ (h_f) kJ/kg	เอนธาลปีจำเพาะ การกลายเป็นไอน้ำ (h_{fg}) kJ/kg	เอนธาลปีจำเพาะ ไอน้ำ (h_g) kJ/kg	ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (V_g) m^3/kg
	0.05	32.88	137.82	2423.7	2561.5	28.192
	0.10	45.81	191.83	2392.8	2584.7	14.674
	0.15	53.97	225.94	2373.1	2599.1	10.022
	0.20	60.06	251.40	2358.3	2609.7	7.649
	0.25	64.97	271.93	2346.3	2618.2	6.204
	0.30	69.10	289.23	2336.1	2625.3	5.229
	0.35	72.70	304.30	2327.2	2631.5	4.530
	0.40	75.87	317.58	2319.2	2636.8	3.993
	0.45	78.70	329.67	2312.0	2641.7	3.580
	0.50	81.33	340.49	2305.4	2645.9	3.240
	0.55	83.72	350.54	2299.3	2649.8	2.964
	0.60	85.94	359.86	2293.6	2653.5	2.732
	0.65	88.01	368.54	2288.3	2656.9	2.535
	0.70	89.95	376.70	2283.3	2660.0	2.365
	0.75	91.78	384.39	2278.6	2663.0	2.217
	0.80	93.50	391.66	2274.1	2665.8	2.087
	0.85	95.14	398.57	2269.8	2668.4	1.972
	0.90	96.71	405.15	2265.7	2670.9	1.869
	0.95	98.20	411.43	2261.8	2673.2	1.777
	1.00	99.63	417.46	2258.0	2675.5	1.694
0	1.013	100.00	419.04	2257.0	2676.0	1.673
0.05	1.063	101.40	424.9	2253.3	2678.2	1.601
0.10	1.113	102.66	430.2	2250.2	2680.4	1.533
0.15	1.163	103.87	435.6	2246.7	2682.3	1.471
0.20	1.213	105.10	440.8	2243.4	2684.2	1.414
0.25	1.263	106.26	445.7	2240.3	2686.0	1.361
0.30	1.313	107.39	450.4	2237.2	2687.6	1.312
0.35	1.363	108.50	455.2	2234.1	2689.3	1.268
0.40	1.413	109.55	459.7	2231.3	2691.0	1.225
0.45	1.463	110.58	464.1	2228.4	2692.5	1.186
0.50	1.513	111.61	468.3	2225.6	2693.9	1.149
0.55	1.563	112.60	472.4	2223.1	2695.5	1.115
0.60	1.613	113.56	476.4	2220.4	2696.8	1.083
0.65	1.663	114.51	480.2	2217.9	2698.1	1.051
0.70	1.713	115.40	484.1	2215.4	2699.5	1.024
0.75	1.763	116.28	487.9	2213.0	2700.9	0.997
0.80	1.813	117.14	491.6	2210.5	2702.1	0.971
0.85	1.863	117.96	495.1	2208.3	2703.4	0.946
0.90	1.913	118.80	498.9	2205.6	2704.5	0.923
0.95	1.963	119.63	502.2	2203.5	2705.7	0.901
1.00	2.013	120.42	505.6	2201.1	2706.7	0.881
1.05	2.063	121.21	508.9	2199.1	2708.0	0.860
1.10	2.113	121.96	512.2	2197.0	2709.2	0.841
1.15	2.163	122.73	515.4	2195.0	2710.4	0.823
1.20	2.213	123.46	518.7	2192.8	2711.5	0.806
1.25	2.263	124.18	521.6	2190.7	2712.3	0.788
1.30	2.313	124.90	524.6	2188.7	2713.3	0.773
1.35	2.363	125.59	527.6	2186.7	2714.3	0.757
1.40	2.413	126.28	530.5	2184.8	2715.3	0.743
1.45	2.463	126.96	533.3	2182.9	2716.2	0.728
1.50	2.513	127.62	536.1	2181.0	2717.1	0.714
1.55	2.563	128.26	538.9	2179.1	2718.0	0.701

ความดันเกจ์ bar	ความดันสมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอ็นธาลปีจำเพาะ			ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (V_g) m^3/kg
			น้ำ (h_f) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h_{fg}) kJ/kg	ไอน้ำ (h_g) kJ/kg	
1.65	2.663	129.51	544.4	2175.5	2719.9	0.677
1.70	2.713	130.13	547.1	2173.7	2720.8	0.665
1.75	2.763	130.75	549.7	2171.9	2721.6	0.654
1.80	2.813	131.37	552.3	2170.1	2722.4	0.643
1.85	2.863	131.96	554.8	2168.3	2723.1	0.632
1.90	2.913	132.54	557.3	2166.7	2724.0	0.622
1.95	2.963	133.13	559.8	2165.0	2724.8	0.612
2.00	3.013	133.69	562.2	2163.3	2725.5	0.603
2.05	3.063	134.25	564.6	2161.7	2726.3	0.594
2.10	3.113	134.82	567.0	2160.1	2727.1	0.585
2.15	3.163	135.36	569.4	2158.5	2727.9	0.576
2.20	3.213	135.88	571.7	2156.9	2728.6	0.568
2.25	3.263	136.43	574.0	2155.3	2729.3	0.560
2.30	3.313	136.98	576.3	2153.7	2730.0	0.552
2.35	3.363	137.50	578.5	2152.2	2730.7	0.544
2.40	3.413	138.01	580.7	2150.7	2731.4	0.536
2.45	3.463	138.53	582.8	2149.2	2732.0	0.529
2.50	3.513	139.02	585.0	2147.6	2732.6	0.522
2.55	3.563	139.52	586.9	2146.3	2733.2	0.515
2.60	3.613	140.00	589.2	2144.7	2733.9	0.509
2.65	3.663	140.48	591.3	2143.3	2734.6	0.502
2.70	3.713	140.96	593.3	2141.9	2735.2	0.496
2.75	3.763	141.44	595.3	2140.5	2735.8	0.489
2.80	3.813	141.92	597.4	2139.0	2736.4	0.483
2.85	3.863	142.40	599.4	2137.6	2737.0	0.477
2.90	3.913	142.86	601.4	2136.1	2737.5	0.471
2.95	3.963	143.28	603.3	2134.8	2738.1	0.466
3.00	4.013	143.75	605.3	2133.4	2738.7	0.461
3.10	4.113	144.67	609.1	2130.7	2739.8	0.451
3.20	4.213	145.46	612.9	2128.1	2741.0	0.440
3.30	4.313	146.36	616.4	2125.5	2741.9	0.431
3.40	4.413	147.20	620.0	2122.9	2742.9	0.422
3.50	4.513	148.02	623.6	2120.3	2743.9	0.413
3.60	4.613	148.84	627.1	2117.8	2744.9	0.405
3.70	4.713	149.64	630.6	2115.3	2745.9	0.396
3.80	4.813	150.44	634.0	2112.9	2746.9	0.389
3.90	4.913	151.23	637.3	2110.5	2747.8	0.381
4.00	5.013	151.96	640.7	2108.1	2748.8	0.374
4.10	5.113	152.68	643.9	2105.7	2749.6	0.367
4.20	5.213	153.40	647.1	2103.5	2750.6	0.361
4.30	5.313	154.12	650.2	2101.2	2751.4	0.355
4.40	5.413	154.84	653.3	2098.9	2752.2	0.348
4.50	5.513	155.55	656.3	2096.7	2753.0	0.342
4.60	5.613	156.24	659.3	2094.5	2753.8	0.336
4.70	5.713	156.94	662.3	2092.3	2754.6	0.330
4.80	5.813	157.62	665.2	2090.2	2755.4	0.325
4.90	5.913	158.28	668.1	2088.1	2756.2	0.320
5.00	6.013	158.92	670.9	2086.0	2756.9	0.315
5.10	6.113	159.56	673.7	2083.9	2757.6	0.310
5.20	6.213	160.20	676.5	2081.8	2758.3	0.305
5.30	6.313	160.82	679.2	2079.8	2759.0	0.301
5.40	6.413	161.45	681.9	2077.8	2759.7	0.296
5.50	6.513	162.08	684.6	2075.7	2760.3	0.292

ความดันเกจ์ bar	ความดันสมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอ็นธาลปีจำเพาะ น้ำ (h_f) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h_{fg}) kJ/kg	ไอน้ำ (h_g) kJ/kg	ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (V_g) m^3/kg
5.60	6.613	162.68	687.2	2073.8	2761.0	0.288
5.70	6.713	163.27	689.8	2071.8	2761.6	0.284
5.80	6.813	163.86	692.4	2069.9	2762.3	0.280
5.90	6.913	164.46	695.0	2067.9	2762.9	0.276
6.00	7.013	165.04	697.5	2066.0	2763.5	0.272
6.10	7.113	165.60	700.0	2064.1	2764.1	1.269
6.20	7.213	166.16	702.5	2062.3	2764.8	0.265
6.30	7.313	166.73	705.0	2060.4	2765.4	0.261
6.40	7.413	167.29	707.4	2058.6	2766.0	0.258
6.50	7.513	167.83	709.7	2056.8	2766.5	0.255
6.60	7.613	168.38	712.1	2055.0	2767.1	0.252
6.70	7.713	168.89	714.5	2053.1	2767.6	0.249
6.80	7.813	169.43	716.8	2051.3	2768.1	0.246
6.90	7.913	169.95	719.1	2049.5	2768.6	0.243
7.00	8.013	170.50	721.4	2047.7	2769.1	0.240
7.10	8.113	171.02	723.6	2046.1	2769.7	0.237
7.20	8.213	171.53	725.9	2044.3	2770.2	0.235
7.30	8.313	172.03	728.1	2042.6	2770.7	0.232
7.40	8.413	172.53	730.4	2040.8	2771.2	0.229
7.50	8.513	173.02	732.5	2039.2	2771.7	0.227
7.60	8.613	173.50	734.7	2037.5	2772.2	0.224
7.70	8.713	174.00	736.8	2035.9	2772.7	0.222
7.80	8.813	174.46	738.9	2034.2	2773.1	0.219
7.90	8.913	174.93	741.0	2032.6	2773.5	0.217
8.00	9.013	175.43	743.1	2030.9	2774.0	0.215
8.10	9.113	175.88	745.2	2029.3	2774.5	0.212
8.20	9.213	176.37	747.2	2027.6	2774.8	0.210
8.30	9.313	176.83	749.3	2026.1	2775.4	0.208
8.40	9.413	177.27	751.3	2024.5	2775.8	0.206
8.50	9.513	177.75	753.3	2022.9	2776.2	0.204
8.60	9.613	178.20	755.3	2021.3	2776.6	0.202
8.70	9.713	178.64	757.2	2019.7	2776.9	0.200
8.80	9.813	179.08	759.2	2018.2	2777.4	0.198
8.90	9.913	179.53	761.1	2016.6	2777.7	0.196
9.00	10.013	179.97	763.0	2015.1	2778.1	0.194
9.10	10.113	180.41	765.0	2013.5	2778.5	0.192
9.20	10.213	180.83	766.9	2012.0	2778.9	0.191
9.30	10.313	181.26	768.7	2010.5	2779.2	0.189
9.40	10.413	181.68	770.6	2009.0	2779.6	0.187
9.50	10.513	182.10	772.5	2007.5	2780.0	0.185
9.60	10.613	182.51	774.4	2006.0	2780.4	0.184
9.70	10.713	182.91	776.2	2004.5	2780.7	0.182
9.80	10.813	183.31	778.0	2003.1	2781.1	0.181
9.90	10.913	183.72	779.8	2001.6	2781.4	0.179
10.00	11.013	184.13	781.6	2000.1	2781.7	0.177
10.20	11.213	184.92	785.1	1997.3	2782.4	0.174
10.40	11.413	185.68	788.6	1994.4	2783.0	0.172
10.60	11.613	186.49	792.1	1991.6	2783.7	0.169
10.80	11.813	187.25	795.5	1988.8	2784.3	0.166
11.00	12.013	188.02	798.8	1986.0	2784.8	0.163
11.20	12.213	188.78	802.3	1983.2	2785.5	0.161
11.40	12.413	189.52	805.5	1980.5	2786.0	0.158
11.60	12.613	190.24	808.8	1977.8	2786.6	0.156

ความดันเกจ์ bar	ความดันสมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอ็นธาลปีจำเพาะ น้ำ (h_f) kJ/kg	เอ็นธาลปีจำเพาะ การกลายเป็นไอน้ำ (h_{fg}) kJ/kg	เอ็นธาลปีจำเพาะ ไอน้ำ (h_g) kJ/kg	ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (V_g) m^3/kg
11.80	12.813	190.97	812.0	1975.1	2787.1	0.153
12.00	13.013	191.68	815.1	1972.5	2787.6	0.151
12.20	13.213	192.38	818.3	1969.9	2788.2	0.149
12.40	13.413	193.08	821.4	1967.2	2788.6	0.147
12.60	13.613	193.77	824.5	1964.6	2789.1	0.145
12.80	13.813	194.43	827.5	1962.1	2789.6	0.143
13.00	14.013	195.10	830.4	1959.6	2790.0	0.141
13.20	14.213	195.77	833.4	1957.1	2790.5	0.139
13.40	14.413	196.43	836.4	1954.5	2790.9	0.137
13.60	14.613	197.08	839.3	1952.0	2791.3	0.135
13.80	14.813	197.72	842.2	1949.6	2791.8	0.133
14.00	15.013	198.35	845.1	1947.1	2792.2	0.132
14.20	15.213	198.98	848.0	1944.6	2792.6	0.130
14.40	15.413	199.61	850.7	1942.3	2793.0	0.128
14.60	15.613	200.23	853.5	1939.8	2793.3	0.127
14.80	15.813	200.84	856.3	1937.4	2793.7	0.125
15.00	16.013	201.45	859.0	1935.0	2794.0	0.124
15.20	16.213	202.04	861.7	1932.7	2794.4	0.122
15.40	16.413	202.62	864.4	1930.4	2794.8	0.121
15.60	16.613	203.21	867.1	1928.0	2795.1	0.119
15.80	16.813	203.79	869.7	1925.7	2795.4	0.118
16.00	17.013	204.38	872.3	1923.4	2795.7	0.117
16.20	17.213	204.94	874.9	1921.2	2796.1	0.115
16.40	17.413	205.49	877.5	1918.9	2796.4	0.114
16.60	17.613	206.05	880.0	1916.7	2796.7	0.113
16.80	17.813	206.61	882.5	1914.4	2796.9	0.111
17.00	18.013	207.17	885.0	1912.1	2797.1	0.110
17.20	18.213	207.75	887.5	1909.9	2797.4	0.109
17.40	18.413	208.30	889.9	1907.7	2797.6	0.108
17.60	18.613	208.84	892.4	1905.5	2797.9	0.107
17.80	18.813	209.37	894.8	1903.4	2798.2	0.106
18.00	19.013	209.90	897.2	1901.3	2708.5	0.105
18.20	19.213	210.43	899.6	1899.1	2798.7	0.104
18.40	19.413	210.96	902.0	1896.9	2798.9	0.103
18.60	19.613	211.47	904.3	1894.8	2799.1	0.102
18.80	19.813	211.98	906.7	1892.6	2799.3	0.101
19.00	20.013	212.47	909.0	1890.5	2799.5	0.100
19.20	20.213	212.98	911.3	1888.4	2799.7	0.0985
19.40	20.413	213.49	913.6	1886.3	2799.9	0.0976
19.60	20.613	213.99	915.8	1884.3	2800.1	0.0967
19.80	20.813	214.48	918.1	1882.2	2800.3	0.0958
20.00	21.013	214.96	920.3	1880.2	2800.5	0.0949
20.50	21.513	216.15	925.8	1875.1	2800.9	0.0927
21.00	22.013	217.35	931.3	1870.1	2801.4	0.0906
21.50	22.513	218.53	936.6	1865.1	2801.7	0.0887
22.00	23.013	219.65	941.9	1860.1	2802.0	0.0868
22.50	23.513	220.76	947.1	1855.3	2802.4	0.0849
23.00	24.013	221.85	952.2	1850.4	2802.6	0.0832
23.50	24.513	222.94	957.3	1845.6	2802.9	0.0815
24.00	25.013	224.02	962.2	1840.9	2803.1	0.0797
24.50	25.513	225.08	967.2	1836.1	2803.3	0.0783
25.00	26.013	226.12	972.1	1831.4	2803.5	0.0766
26.00	27.013	228.15	981.6	1822.2	2803.8	0.0740

ความดันเกจ์ bar	ความดันสมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอ็นธาลปีจำเพาะ			ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (V_g) m^3/kg
			น้ำ (h_f) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h_{fg}) kJ/kg	ไอน้ำ (h_g) kJ/kg	
27.00	28.013	230.14	990.7	1813.3	2804.0	0.0714
28.00	29.013	232.05	999.7	1804.4	2804.1	0.0689
29.00	30.013	233.93	1008.6	1795.6	2804.2	0.0666
30.00	31.013	235.78	1017.0	1787.0	2804.1	0.0645
31.00	32.013	237.55	1025.6	1778.5	2804.1	0.0625
32.00	33.013	239.28	1033.9	1770.0	2803.9	0.0605
33.00	34.013	240.97	1041.9	1761.8	2803.7	0.0587
34.00	35.013	242.63	1049.7	1753.8	2803.5	0.0571
35.00	36.013	244.26	1057.7	1745.5	2803.2	0.0554
36.00	37.013	245.86	1065.7	1737.2	2802.9	0.0539
37.00	38.013	247.42	1072.9	1729.5	2802.4	0.0524
38.00	39.013	248.95	1080.3	1721.6	2801.9	0.0510
39.00	40.013	250.42	1087.4	1714.1	2801.5	0.0498
40.00	41.013	251.94	1094.6	1706.3	2800.9	0.0485
42.00	43.013	254.74	1108.6	1691.2	2799.8	0.0461
44.00	45.013	257.50	1122.1	1676.2	2798.2	0.0441
46.00	47.013	260.13	1135.3	1661.6	2796.9	0.0421
48.00	49.013	262.73	1148.1	1647.1	2795.2	0.0403
50.00	51.013	265.26	1160.8	1632.8	2793.6	0.0386

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ง.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam)

Temperature (°C)	Vapor pressure (kPa)	Specific volume (m^3/kg)		Enthalpy (kJ/kg)		Entropy (kJ/kg · K)	
		(V_c') Liquid	(V_v') Saturated vapor	Liquid (H_c)	Saturated vapor (H_v)	Liquid	Saturated vapor
0.01	0.6113	0.0010002	206.136	0.00	2501.4	0.0000	9.1562
3	0.7577	0.0010001	168.132	12.57	2506.9	0.0457	9.0773
6	0.9349	0.0010001	137.734	25.20	2512.4	0.0912	9.0003
9	1.1477	0.0010003	113.386	37.80	2517.9	0.1362	8.9253
12	1.4022	0.0010005	93.784	50.41	2523.4	0.1806	8.8524
15	1.7051	0.0010009	77.926	62.99	2528.9	0.2245	8.7814
18	2.0640	0.0010014	65.038	75.58	2534.4	0.2679	8.7123
21	2.487	0.0010020	54.514	88.14	2539.9	0.3109	8.6450
24	2.985	0.0010027	45.883	100.70	2545.4	0.3534	8.5794
27	3.567	0.0010035	38.774	113.25	2550.8	0.3954	8.5156
30	4.246	0.0010043	32.894	125.79	2556.3	0.4369	8.4533
33	5.034	0.0010053	28.011	138.33	2561.7	0.4781	8.3927
36	5.947	0.0010063	23.940	150.86	2567.1	0.5188	8.3336
40	7.384	0.0010078	19.523	167.57	2574.3	0.5725	8.2570
45	9.593	0.0010099	15.258	188.45	2583.2	0.6387	8.1648
50	12.349	0.0010121	12.032	209.33	2592.1	0.7038	8.0763
55	15.758	0.0010146	9.568	230.23	2600.9	0.7679	7.9913
60	19.940	0.0010172	7.671	251.13	2609.6	0.8312	7.9096
65	25.03	0.0010199	6.197	272.06	2618.3	0.8935	7.8310
70	31.19	0.0010228	5.042	292.98	2626.8	0.9549	7.7553
75	38.58	0.0010259	4.131	313.93	2635.3	1.0155	7.6824
80	47.39	0.0010291	3.407	334.91	2643.7	1.0753	7.6122
85	57.83	0.0010325	2.828	355.90	2651.9	1.1343	7.5445
90	70.14	0.0010360	2.361	376.92	2660.1	1.1925	7.4791
95	84.55	0.0010397	1.9819	397.96	2668.1	1.2500	7.4159
100	101.35	0.0010435	1.6729	419.04	2676.1	1.3069	7.3549
105	120.82	0.0010475	1.4194	440.15	2683.8	1.3630	7.2958
110	143.27	0.0010516	1.2102	461.30	2691.5	1.4185	7.2387
115	169.06	0.0010559	1.0366	482.48	2699.0	1.4734	7.1833
120	198.53	0.0010603	0.8919	503.71	2706.3	1.5276	7.1296
125	232.1	0.0010649	0.7706	524.99	2713.5	1.5813	7.0775
130	270.1	0.0010697	0.6685	546.31	2720.5	1.6344	7.0269
135	313.0	0.0010746	0.5822	567.69	2727.3	1.6870	6.9777
140	316.3	0.0010797	0.5089	589.13	2733.9	1.7391	6.9299
145	415.4	0.0010850	0.4463	610.63	2740.3	1.7907	6.8833
150	475.8	0.0010905	0.3928	632.20	2746.5	1.8418	6.8379
155	543.1	0.0010961	0.3468	653.84	2752.4	1.8925	6.7935
160	617.8	0.0011020	0.3071	675.55	2758.1	1.9427	6.7502
165	700.5	0.0011080	0.2727	697.34	2763.5	1.9925	6.7078
170	791.7	0.0011143	0.2428	719.21	2768.7	2.0419	6.6663
175	892.0	0.0011207	0.2168	741.17	2773.6	2.0909	6.6256
180	1002.1	0.0011274	0.19405	763.22	2778.2	2.1396	6.5857
190	1254.4	0.0011414	0.15654	807.62	2786.4	2.2359	6.5079
200	1553.8	0.0011565	0.12736	852.45	2793.2	2.3309	6.4323
225	2548	0.0011992	0.07849	966.78	2803.3	2.5639	6.2503
250	3973	0.0012512	0.05013	1085.36	2801.5	2.7927	6.0730
275	5942	0.0013168	0.03279	1210.07	2785.0	3.0208	5.8938
300	8581	0.0010436	0.02167	1344.0	2749.0	3.2534	5.7045

Source: Abridged from Keenan *et al.* (1969). Copyright © 1969 by John Wiley and Sons. Reprinted by permission of John Wiley and Sons, Inc.

ตารางที่ ง.3 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำและอากาศ (Water and Air)

Temperature t (°C)	Temperature T (K)	Density ρ (kg/m^3)	Coefficient of volumetric thermal expansion β ($\times 10^{-4}$ K^{-1})	Specific heat c_p (kJ/kg · K)	Thermal conductivity k (W/m · K)	Thermal diffusivity α ($\times 10^{-6}$ m^2/s)	Absolute viscosity μ ($\times 10^{-6}$ Pa · s)	Kinematic viscosity ν ($\times 10^{-6}$ m^2/s)	Prandtl number Pr
0	273.15	999.9	−0.7	4.226	0.558	0.131	1793.636	1.789	13.7
5	278.15	1000.0	—	4.206	0.568	0.135	1534.741	1.535	11.4
10	283.15	999.7	0.95	4.195	0.577	0.137	1296.439	1.300	9.5
15	288.15	999.1	—	4.187	0.587	0.141	1135.610	1.146	8.1
20	293.15	998.2	2.1	4.182	0.597	0.143	993.414	1.006	7.0
25	298.15	997.1	—	4.178	0.606	0.146	880.637	0.884	6.1
30	303.15	995.7	3.0	4.176	0.615	0.149	792.377	0.805	5.4
35	308.15	994.1	—	4.175	0.624	0.150	719.808	0.725	4.8
40	313.15	992.2	3.9	4.175	0.633	0.151	658.026	0.658	4.3
45	318.15	990.2	—	4.176	0.640	0.155	605.070	0.611	3.9
50	323.15	988.1	4.6	4.178	0.647	0.157	555.056	0.556	3.55
55	328.15	985.7	—	4.179	0.652	0.158	509.946	0.517	3.27
60	333.15	983.2	5.3	4.181	0.658	0.159	471.650	0.478	3.00
65	338.15	980.6	—	4.184	0.663	0.161	435.415	0.444	2.76
70	343.15	977.8	5.8	4.187	0.668	0.163	404.034	0.415	2.55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ง.4 ตารางแสดง Linear specific heat model of food

Materials	C_p	$(C_w - C_p)$	X_w range	T range (°C)	REF
Cheese (processed)	1918	2258	0.425 to 0.684	40	13
Dulce de Leche	1790	2640	0.28 to 0.60	30 to 50	12
Foods	837	3349	all range		1
Fish and meat	1670	2508	less than 0.25		2
Fruits and vegetables	1670	2508	higher than 0.5		2
Lentil[d]	1040	1989	0.02 to 0.26	10 to 80	14
Rough rice	1109	4477	0.10 to 0.17		3
Sorghum and cereals	1400	3200	low water		2
Finished rice	1197	3767	0.10 to 0.17		3
Oats rice	1276	3264	0.10 to 0.17		3
Wheat rice	1259	3598	0.00 to 0.35		4
Wheat[c]	1090	4046	0.00 to 0.40	0.6 to 21.1	5
Soybeans	1637	1927	-		6
Sorghum	1396	3222	0.00 to 0.30		7
Orange (navel)	1452	2515	0.00 to 0.89		8
Soy flour[a]	1748	3363	0.092 to 0.391	130	9
Paddy rice[b]	1188	3758	0.12 to 0.22		10
Potato (recorded)	904	3266	higher than 0.5		11
Potato (recorded)	1645	1830	0.20 to 0.50		11

[a] Defatted
[b] Calrose, Inga, Saturn variety
[c] Hard red spring
[d] Lens culinaris, Medik

1. Siebel (1892)
2. Hallstrom et al. (1988)
3. Haswell (1954)
4. Mohsenin(1980)
5. Muir and Viravanichai (1972)
6. Alam and Shove (1972)
7. Sharma and Thompson(1973)
8. Turrell and Perry (1957)
9. Wallapapan et al. (1984)
10. Putranon et al. (1980)
11. Yamada (1970)
12. Hough et al. (1986)
13. Thomareis and Hardy (1985)
14. Tang et al. (1991)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี