บทที่ 3 ข้อมูลพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 อุตสาหกรรมผลิตก๋วยเตี๋ยว

ก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเส้นทำจากแป้งข้าวเจ้าเป็นที่นิยมบริโภคกันมาก เนื่องจากมีราคาถูกสามารถประกอบอาหารได้ง่ายและหลากหลาย เช่น ก๋วยเตี๋ยวน้ำ ผัดไท ผัดซีอิ้ว ราดหน้า เป็นต้น ทำให้อุตสาหกรรมนี้มีการเติบโตอย่างมากทั้งการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศและต่างประเทศ

3.1.1 ข้อมูลเบื้องต้น

หัวใจหลักของการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว คือ ข้าวเจ้า ซึ่งเป็นสินค้าเกษตรที่มีความสำคัญต่อวิถีชีวิตและเศรษฐกิจของประเทศไทยมาช้านาน โดยในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวส่วนใหญ่นั้นไม่ได้ใช้ข้าวเจ้าเต็มเมล็ดแต่นำปลายข้าวหรือจมูกข้าวที่เกิดขึ้นจากการสีข้าวมาผลิต ซึ่งจะมีราคาถูกกว่ามากเมื่อเทียบกับข้าวขาวเต็มเมล็ด หากส่งออกมูลค่าก็ไม่สูงมากนัก การนำมาแปรรูปในอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวจึงถือเป็นการเพิ่มมูลค่าอีกทางหนึ่งซึ่งเป็นหนึ่งในหลายผลิตภัณฑ์ที่มีการส่งออกอยู่ในปัจจุบัน แต่จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวที่ไทยส่งออกยังนับว่าน้อยมาก มีปริมาณเพียง 2.67 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณส่งออกข้าวเท่านั้น และหากคำนวณราคาต่อตันแล้วผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวมีราคาสูงกว่าข้าวอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงได้ดังในตารางที่ 3.1 ดังนั้นการส่งเสริมให้แปรรูปข้าวและส่งออกสินค้าแปรรูปจากข้าวนั้นควรได้รับการสนับสนุนอย่างเต็มที่จากทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในแง่ของการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต การใช้พลังงานอย่างเหมาะสม เป็นต้น เพื่อที่จะสามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เส้นก๋วยเตี๋ยวไม่หมัก และเส้นก๋วยเตี๋ยวหมัก เส้นก๋วยเตี๋ยวไม่หมักมีปริมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ ของการผลิตทั้งหมด เส้นก๋วยเตี๋ยวไม่หมักมี 4 ประเภท คือ ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ เส้นเล็ก เส้นหมี่ และเส้นก๋วยจั๊บ การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวในประเทศไทยรองรับความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศเป็นหลักโดยทั่วไปการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กและกลางเพื่อจำหน่ายในท้องถิ่น สำหรับโรงงานขนาดใหญ่จะมีพื้นที่จำหน่ายกว้างขวางขึ้นโดยมักจะส่งขายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ตลาดส่งออกที่สำคัญของไทย ได้แก่ สหรัฐอเมริกา มาเลเซีย แคนาดา และฮ่องกง โดยมีโรงงานที่ผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่จดทะเบียนในปี 2537 ทั่วประเทศประมาณ 476 โรง โดยอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร 69 โรง

ตารางที่ 3.1 ปริมาณและมูลค่าส่งออกข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าวในปี 2552-2553
(ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553)

ประเภท	ปริมาณ(ตัน)		มูลค่า(ล้านบาท)		ราคาเฉลี่ย (บาทต่อตัน)	
	ปี2552	ปี2553	ปี2552	ปี2553	ปี2552	ปี2553
ข้าวขาว(รวม)	**2,315,453**	**2,912,926**	**34,874.375**	**44,118.136**	**15,320**	**15,145**
ข้าวขาว 100%	393,536	648,149	7,763.373	11,410.548	19,727	17,604
ข้าวขาว 15%	30,918	17,260	498.997	243.978	16,139	14,135
ข้าวขาว 10%	23,215	18,284	525.126	332.695	22,620	18,195
ผลิตภัณฑ์จากข้าว	**236,240**	**247,263**	**11,214.096**	**12,533.194**	**47,469**	**50,687**
แป้งข้าวเจ้า	41,337	40,136	1,024.221	1,015.474	24,777	25,300
เส้นหมี่เส้นก๋วยเตี๋ยว	41,824	42,574	3,424.930	3,393.954	81,889	79,718
สตาร์ชจากข้าวเจ้า	3,868	4,164	112.796	147.511	29,161	35,425

3.1.2 เส้นก๋วยเตี๋ยวและองค์ประกอบของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ก๋วยเตี๋ยว หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวเจ้าที่นำมาโม่หรือแป้งข้าวเจ้า ซึ่งอาจมีแป้งชนิดอื่นผสมอยู่ด้วยก็ได้ ทำให้เป็นแผ่นบาง นึ่งให้สุก ตัดเป็นเส้นแล้วทำให้แห้ง

3.1.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๋วยเตี๋ยว

3.1.2.1.1 ข้าว

ข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากประชากรกว่าครึ่งโลกใช้เป็นอาหารหลัก ข้าวจากแหล่งต่าง ๆ ทั่วโลกแบ่งได้เป็น 3 ตระกูลใหญ่ๆ ได้แก่ Oryza perennis เป็นข้าวป่า เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ Oryza glaberrima เป็นข้าวที่ปลูกเฉพาะในทวีปแอฟริกา และ Oryza sativa เป็นข้าวที่ปลูกกันโดยทั่วไป ข้าวที่ปลูกในทวีปเอเชียก็จัดอยู่ในตระกูล Oryza sativa ด้วย ซึ่งยังแบ่งออกได้อีกเป็น 3 พวก คือ Japonica, Indica และ Javanica โดยอาศัยลักษณะลำต้น เมล็ด และเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวลูกผสมระหว่างข้าวทั้ง 3 ชนิดเป็นหลัก Japonica เป็นข้าวที่นิยมปลูกในเขตอบอุ่น เช่น จีน เกาหลี ญี่ปุ่น Indica เป็นข้าวที่ปลูกในประเทศต่าง ๆ ในเขตร้อน เช่น ศรีลังกา อินเดีย บังคลาเทศ ไทย ฟิลิปปินส์ เป็นต้น และ Javanica เป็นข้าวที่พบในประเทศอินโดนีเซียเท่านั้น ข้าวที่ปลูกเพื่อบริโภคสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับสิ่งที่ใช้เป็นมาตรฐานในการแบ่งแยกข้าว ถ้าแบ่งตามสภาพพื้นที่ปลูกได้เป็น ข้าวไร่ ข้าวนาสวน ข้าวนาดิน ข้าวนาทราย ถ้าแบ่งตาม

ช่วงเวลาในการปลูก และเก็บเกี่ยว ก็จะเป็นข้าวนาปี และข้าวนาปรัง แต่ถ้าแบ่งตามชนิดของแป้งในเมล็ดก็จะได้เป็น ข้าวเจ้า และข้าวเหนียว แต่นักบำรุงพันธุ์และผสมพันธุ์ข้าว นิยมแบ่งชนิดของข้าวโดยอาศัยสมบัติทางเคมีของข้าว เพื่อให้มีคุณลักษณะการหุงต้ม การรับประทานและการนำไปแปรรูปผลิตภัณฑ์ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค เช่น จำแนกตามปริมาณอะมิโลส ความคงตัวของเจลหรือ อุณหภูมิที่แป้งดูดน้ำและพองตัวเป็นวุ้นใส เป็นต้น

3.1.2.1.2 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตก๋วยเตี๋ยว เพราะถ้าหากปริมาณน้ำที่ใช้ไม่เหมาะสมในการผลิตก็จะทำให้คุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวไม่ได้มาตรฐาน นอกจากนั้นอุณหภูมิของน้ำก็มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตเช่นกัน ซึ่งคุณภาพของน้ำที่ใช้ในการผลิตก๋วยเตี๋ยวควรเป็นน้ำสะอาดเหมาะสำหรับบริโภค ปราศจากสารแขวนลอย ความกระด้างต่ำ ปริมาณคลอรีนอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.5 ส่วนในล้าน มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ ในช่วง 5.0 – 7.0 จะช่วยให้เจลของแป้งสุกมีความเหนียวสูงสุด ถ้ามีค่ากรดด่างสูงหรือต่ำกว่านี้ ใช้น้ำที่มีเกลือแคลเซียม หรือ แมกนีเซียมมากเกินไป เจลจะมีความเหนียวน้อยลง เนื่องจาก โมเลกุลของแป้งแตกตัวได้น้อย อะมิโลสจึงหลุดออกจากแป้งน้อย

3.1.2.1.3 แป้งมันสำปะหลังและส่วนผสมอื่นๆ

ปัจจุบันการผลิตก๋วยเตี๋ยวนั้นได้มีการนำส่วนผสมอื่นเข้ามา เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของเส้นก๋วยเตี๋ยวให้ได้ตามที่ต้องการ เช่น ให้ได้ความเหนียวนุ่มที่ต้องการ หรือคุณค่าทางโภชนาการอื่น เป็นการเพิ่มมูลค่าและเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของแต่ละโรงงาน

3.1.2.1 ลักษณะทั่วไปของเส้นก๋วยเตี๋ยว

สำหรับลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวนั้น โรงงานผู้ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวต้องคำนึงก็คือการผลิตให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร (Good Manufacturing Practices: GMP) โดยกระทรวงอุตสาหกรรมได้มีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 959-2533 ซึ่งมีข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้

1. ก๋วยเตี๋ยวในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีขนาดเส้นใกล้เคียงกัน
2. ความหนาต้องมีความหนาสม่ำเสมอโดยมีความหนาเฉลี่ยไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร และความหนาที่วัดได้จากแต่ละตำแหน่งจะต่างจากความหนาเฉลี่ยได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร
3. มีสีขาวนวล สม่ำเสมอ
4. มีกลิ่นรสตามธรรมชาติ ไม่มีกลิ่นหืน หรือกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์อื่น
5. นิ่มและเหนียวไม่เกาะติดกัน
6. จะมีเส้นก๋วยเตี๋ยวหักได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสุทธิผลิตภัณฑ์ จากการสุ่มตรวจ

7. ความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวต้องไม่เกินร้อยละ 12 ของน้ำหนัก
8. ต้องมีปริมาณอะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) ไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม
9. โซเดียมหรือโปแตสเซียมเมตะไฮโดรเจนซัลไฟต์หรือโซเยมหรือโปแตสเซียมไฮโดรเจนซัลไฟต์หรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหลือตกค้างในเส้นก๋วยเตี๋ยวต้องไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
10. จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1 x 10^3 โคโลนีต่อกรัมของตัวอย่าง
11. จำนวนราไม่เกิน 10โคโลนีต่อกรัมของตัวอย่าง
12. จำนวนโคลิฟอร์มวัดโดยวิธี MPN น้อยกว่า 3 ในตัวอย่าง 1 กรัม
13. คลอสตริเดียม เพอร์ฟริส์เจนส์ ต้องไม่พบในตัวอย่างเกิน 0.01 กรัม
14. ข้อกำหนดอื่นๆตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเส้นหมี่ มอก. 959-2533

รูปที่ 3.1 ผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว

3.1.3 กระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

ในอุตสาหกรรมผลิตก๋วยเตี๋ยวนั้น สามารถแบ่งการผลิตได้เป็นสองส่วน คือ การผลิตเส้นสดและการผลิตเส้นแห้ง โดยขั้นตอนของการผลิตเส้นแห้งจะมีกระบวนเพิ่มขึ้นจากการผลิตเส้นสด ซึ่งการผลิตในขั้นต้นนั้นจะไม่ต่างกันมาก โดยกระบวนการในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวนั้นมีขั้นตอนหลัก ดังนี้

3.1.3.1 การขนส่งและเก็บรักษาวัตถุดิบ

วัตถุดิบหลักที่ใช้ได้แก่ ข้าวท่อนหรือปลายข้าวชนิดแข็งที่มีปริมาณอะมิโลส 27 – 30 เปอร์เซ็นต์ และเป็นข้าวเก่า ถูกสั่งซื้อและขนส่งมาเก็บรักษาไว้ในโกดัง ซึ่งมีการบันทึกวันที่รับเพื่อนำปลายข้าวที่รับเข้ามาก่อนไปใช้ผลิตก่อนเพราะอายุของข้าวจะมีผลต่อการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วย นอกจากนั้นโกดังจะมีการยกพื้นสูงเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายเนื่องจากความชื้น ซึ่งเป็นอีกปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการผลิตเช่นกัน

3.1.3.2 การขัดสีและคัดแยก

นำปลายข้าวเทใส่หลุมแล้วลำเลียงโดยระบบสายพานไปขัดสี ได้ปลายข้าวขาวและรำข้าว ซึ่งปลายข้าวขาวนำไปล้างทำความสะอาด ส่วนรำข้าวนำไปบรรจุในถุงกระสอบ เพื่อจำหน่ายให้กับผู้รับซื้อภายนอกนำไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ โดยเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการนี้ก็จะเป็นเครื่องจักรเดียวกับที่ใช้ในโรงสีข้าว เช่น เครื่องแยกหิน เครื่องแยกเศษฟาง และ เครื่องยิงสี เป็นต้น

3.1.3.3 การล้างทำความสะอาดและแช่วัตถุดิบ

เมื่อต้องการผลิตก็จะนำเมล็ดข้าวที่ผ่านการคัดแยกไปล้างทำความสะอาดจากนั้นนำปลายข้าวขาวไปแช่น้ำไว้ประมาณ 10-12 ชั่วโมง เพื่อให้ปลายข้าวขาวนิ่มและโม่ได้ง่าย ระยะเวลาการแช่ปลายข้าวขึ้นอยู่กับรายละเอียดของขั้นตอนการผลิตในแต่ละแห่ง ทั้งนี้หากต้องการลดเวลาในการแช่ข้าวต้องนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยในกระบวนการนี้หากขาดการจัดการที่ดีและกระบวนการผลิตที่ถูกต้องจะทำให้เกิดน้ำเสียและเป็นแหล่งกำเนิดเชื้อรา แบคทีเรียต่างๆได้

3.1.3.4 การโม่

นำปลายข้าวขาวไปโม่ในเครื่องโม่ไฟฟ้า การโม่ข้าวจะทำให้เม็ดแป้งหลุดและแตกออกจากกันได้ ทำให้เม็ดแป้งแยกตัวจากโปรตีน ไขมันและสารอาหารอื่น ๆ ที่ยังหลงเหลืออยู่หลังที่ผ่านการล้างแล้ว อย่างไรก็ตามน้ำแป้งที่ได้จะมีส่วนของโปรตีนอยู่บ้าง แต่ไขมันจะมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก โดยต้องการย่อยขนาดเมล็ดข้าวให้มีขนาดเล็กที่ต้องการเพราะหากไม่ได้ขนาดที่ต้องการแล้วเมื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตจะทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวสุกไม่ทั่วถึงทำให้ต้องใช้พลังงานสูงขึ้นในกระบวนการนึ่งและอบแห้ง ระหว่างการโม่ปลายข้าวขาวจะมีการเติมน้ำสะอาดเพื่อช่วยให้โม่ได้ง่ายซึ่งได้น้ำแป้งออกมาและลดของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการโม่เพราะในกระบวนการนั้นจะเกิดความร้อนขึ้นเนื่องจากการโม่ทำให้แป้งเปลี่ยนสถานะเป็นเจลบางส่วนซึ่งไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในกระบวนการนี้

3.1.3.5 การกรองน้ำแป้งและการผสมสูตร

นำน้ำแป้งไปผ่านเครื่องกรองเพื่อแยกน้ำแป้งกับกากตะกอนออก ซึ่งน้ำแป้งจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องผสมสูตร โดยสัดส่วนของส่วนผสมอื่นๆ และสารปรุงแต่งต่างๆที่เติมเข้าไป เช่น แป้งมัน เป็นต้น ขึ้นกับประเภทของแผ่นแป้งที่นำไปผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ต้องการผลิต โดยปริมาณของน้ำที่ใช้ผสมกับแป้งหรืออัตราส่วนของน้ำต่อแป้งมีความสำคัญมาก เพราะจะมีผลโดยตรงกับความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของข้าวที่ใช้ด้วย โดยทั่วไปถ้าใช้น้ำน้อยเกินไปจะได้ก๋วยเตี๋ยวที่แข็ง แต่ถ้าใช้น้ำมากเกินไปจะทำให้ก๋วยเตี๋ยวนิ่มและขาดง่าย จากการเก็บข้อมูลของโรงงานก๋วยเตี๋ยวพบว่าปริมาณน้ำในน้ำแป้งอยู่ระหว่าง 60 – 65 เปอร์เซ็นต์ การแช่น้ำแป้งไว้หลังจากโม่แล้วประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง จะทำให้เม็ดแป้งดูดน้ำเข้าไปมากขึ้น ซึ่งทำให้เม็ดแป้งแตกได้ง่ายขณะที่นำไปนึ่ง

3.1.3.6 การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

นำส่วนผสมที่ได้จากเครื่องผสมสูตรสำหรับผลิตแผ่นแป้งเส้นใหญ่และเส้นเล็ก ไหลผ่านรางหรือท่อลำเลียงไปยังสายพานเครื่องนึ่งสำหรับทำแผ่นแป้งสด โดยใช้ไอน้ำในการนึ่งแผ่นแป้งให้สุก ซึ่งปลายทางของสายพานผลิตเส้นใหญ่มีน้ำมันปาล์มไหลผ่านเพื่อป้องกันแผ่นแป้งติดกันในกรณีที่ผลิตเป็นก๋วยเตี๋ยวเส้นสด สำหรับแผ่นแป้งที่นำไปผลิตเส้นแห้งจะถูกส่งผ่านเข้าเตาอบ จากนั้นนำออกมาผึ่งไว้ประมาณ 1 วัน แล้วนำแผ่นแป้งไปตัดให้เป็นเส้นเล็กตามขนาดที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นต้องจะผ่านลมร้อนเพื่ออบแห้งให้ได้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ

3.1.3.7 การตัดเส้น

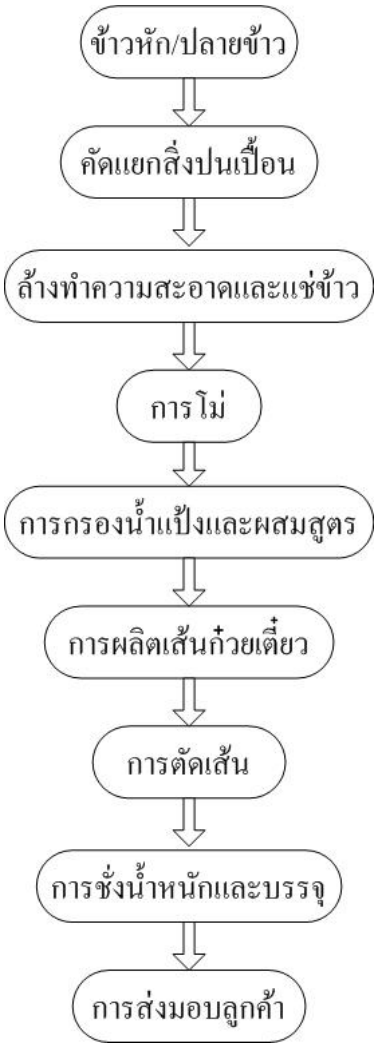
นำแผ่นแป้งสดไปตัดด้วยเครื่องตัดเส้นให้ได้ขนาดของเส้นตามที่โรงงานกำหนด สำหรับแผ่นแป้งอบถูกนำไปตัดด้วยเครื่องตัดเส้นให้เป็นเส้นตามขนาดที่ได้กำหนดไว้เช่นเดียวกัน ซึ่งปัญหาในการตัดส่วนใหญ่นั้น หากเป็นก๋วยเตี๋ยวเส้นสดต้องใช้น้ำมันเพื่อไม่ให้เส้นติดกัน ส่วนปัญหาของเส้นแห้งนั้นหากเส้นแห้งเกินไปก็จะแตก หากชื้นเกินไปก็จะติดที่มีดตัดได้ นอกจากนั้นเศษด้านข้างของแผ่นที่เกิดขึ้นก็เป็นของเสียจำนวนไม่น้อย ดังนั้นการจัดการเรื่องนี้จึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างมาก

3.1.3.8 การชั่งน้ำหนักและบรรจุ

นำเส้นใหญ่ไปชั่งน้ำหนักและบรรจุลงในถุงพลาสติก สำหรับเส้นเล็กก่อนบรรจุใช้กรรไกรตัดส่วนปลายให้มีความยาวเท่ากัน จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและบรรจุใส่ถุง ซึ่งปลายของเส้นเล็กที่ถูกตัดทิ้งเก็บไว้เพื่อจำหน่ายให้กับผู้รับซื้อภายนอกนำไปเป็นส่วนประกอบในการผลิตอาหารสัตว์

3.1.3.9 การส่งมอบ

ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุถูกส่งมอบให้กับลูกค้า ซึ่งมีทั้งลูกค้าที่มาซื้อที่โรงงานและที่ต้องจัดส่งให้



รูปที่3.2 แผนภาพแสดงการผลิตก๋วยเตี๋ยว

3.2 การนึ่ง

การนึ่ง คือ กระบวนการในการทำอาหารให้สุกด้วยการใช้ความร้อนจากไอน้ำร้อน ที่ได้จากการต้มน้ำเดือด การนึ่งโดยทั่วไปจะทำที่ความดันบรรยากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 100 -105 องศาเซลเซียส ความร้อนจากไอน้ำจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหน้าของอาหารด้วยการพาความร้อนและเข้าสู่ภายในอาหารด้วยการนำความร้อน ความร้อนจากการนึ่งเป็นความร้อนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (moiset heat) ทำให้แป้ง (starch) เกิดการเจลาติไนซ์เซชั่นและโปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติ (protein denaturation) จึงทำให้อาหารสุก อาหารที่ผ่านการนึ่งให้สุก จะชุ่มชื้น ผิวนุ่ม ไม่เกิดชั้นผิวที่ แห้งกรอบ (crust) เหมือนอาหารที่ผ่านการอบ (baking) ซึ่งใช้ความร้อนแห้ง (dry heat) หรือการทอด ซึ่งใช้น้ำมันเป็น

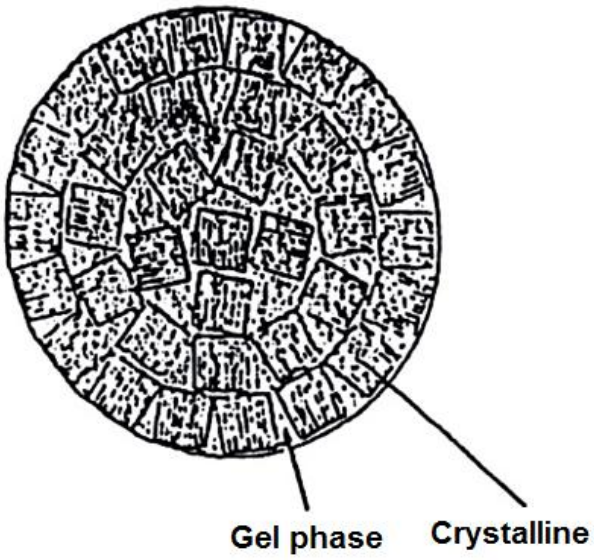
ตัวกลางถ่ายเทความร้อน ดังนั้นกระบวนการนึ่งจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในกระบวนการนึ่งที่กล่าวในข้างต้นอธิบายได้ดังนี้

3.2.1. การเกิดเจลาติไนเซชัน

ภายในเม็ดแป้ง (Starch granule) จะประกอบด้วย แป้ง (Starch) อะมิโลสและอะมิโลเพกทิน จัดเรียงกันเป็นโครงสร้างของเม็ดแป้ง มีทั้งส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) และส่วนอสัณฐาน (Amorphous) ภายในเมล็ดข้าวประกอบด้วยแป้งประมาณ 84-93 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง และมีโปรตีนประมาณ 5-14 เปอร์เซ็นต์ แป้งสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

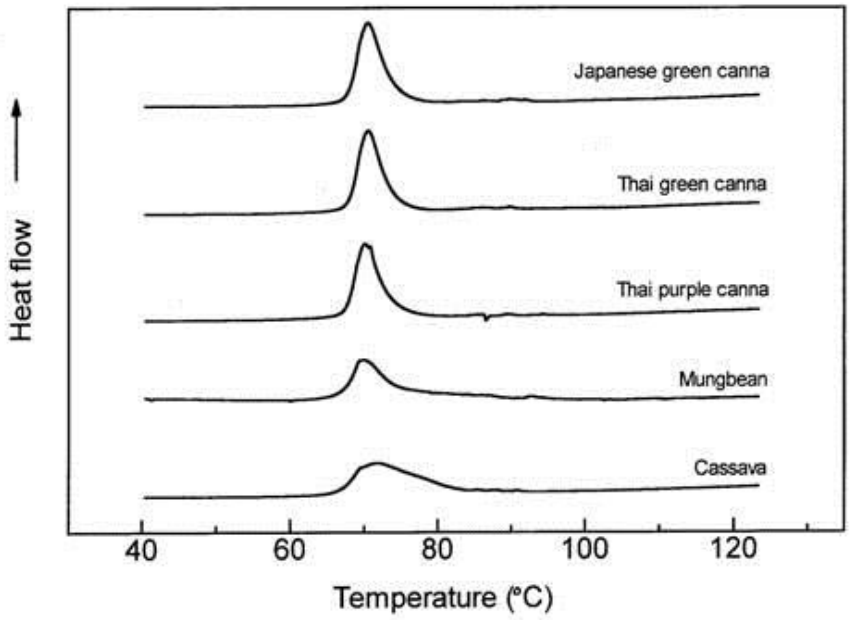
1. อะมิโลเพกทิน (Amylopectin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลกลูโคส(Glucose) จำนวนมาก และมีโครงสร้างโมเลกุลเชื่อมต่อกันแบบแยกเป็นกิ่งก้าน (Branched chain) เมื่อย้อมสีด้วยไอโอดีนจะกลายเป็นสีน้ำตาลแดง เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือดจะค่อนข้างคงสภาพเดิมไปได้นานและเป็นส่วนที่ทำให้ข้าวสุกเหนียวติดกัน
2. อะมิโลส (Amylose) เป็นส่วนประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลกลูโคสจำนวนมากเช่นเดียวกัน แต่จะมีโครงสร้างโมเลกุลต่อกันเป็นแนวเส้นยาว (Linear chain) เมื่อย้อมสีด้วยน้ำยาไอโอดีนจะมีสีน้ำเงิน เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือดและทำให้เย็นจะเกิดการคืนตัวเป็นของแข็งขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง และมีผลให้ข้าวสุกร่วนและแข็งกระด้างมากขึ้น ในแป้งข้าวเจ้าจะมีอะมิโลสประมาณ 10-34 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นกับพันธุ์ข้าวส่วนที่เหลือเป็นอะมิโลเพกติน

เม็ดแป้งไม่สามารถละลายในน้ำเย็น เนื่องจากโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxy group) จำนวนมาก จับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน แป้งมีคุณสมบัติเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) จึงมีความสามารถดูดน้ำได้เมื่อทำให้เปียกหรือทิ้งไว้ในที่มีความชื้นสูง เมื่อเม็ดแป้งดูดน้ำจะพองตัวได้เล็กน้อย ซึ่งการพองตัวสามารถย้อนกลับได้ โดยเม็ดแป้งจะหดตัวเมื่อทำให้แห้ง ในเม็ดแป้งโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินจะจัดเรียงตัวกันเป็นกลุ่ม แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบเหมือนผลึก มีการพองตัวอย่างจำกัด เรียกส่วนนี้ว่า ส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline region) อีกกลุ่มหนึ่งมีการจัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบดูดน้ำได้ดี เรียกส่วนนี้ว่าส่วนที่ไม่เป็นผลึก (Amorphous region หรือ gel phase) ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 บริเวณส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) และส่วนที่ไม่เป็นผลึก (gel phase) ของเม็ดแป้ง

การเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization of starch) สามารถเกิดขึ้นเมื่อสารละลายน้ำแป้งได้รับความร้อน เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวขึ้น ขณะเดียวกันพันธะไฮโดรเจนที่อยู่ภายในเม็ดแป้งจะค่อยๆ คลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำมากขึ้นและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น โมเลกุลน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่า อุณหภูมิในการเกิดเจล แป้งแต่ละชนิดมีอุณหภูมิในการเกิดเจลแตกต่างกันขึ้นกับสัดส่วนปริมาณอะมิโลส ปริมาณอะมิโลเพกทิน ปริมาณไขมัน การจัดเรียงตัวของโมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเพกทินในเม็ดแป้ง ซึ่งการจัดเรียงตัวของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินในเม็ดแป้งมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอกันทำให้เม็ดแป้งมีขนาดต่างกัน ทำให้การเกิดเจลาติไนเซชันไม่ได้เกิดที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง แต่เกิดเป็นช่วงอุณหภูมิ ช่วงของอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลง (Onset temperature) และอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (Peak temperature) ของความร้อน คือ ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลเฉลี่ยนั่นเอง



รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ของการไหลของความร้อน (heat flow) และอุณหภูมิของการเกิดเจลาติไนซ์เซชั่นของแป้งแต่ละชนิด
(ที่มา : รศ.ดร.ดุษฎี อุตภาพ, 2549)

3.2.2. การเกิดเจล (gelation)

สตาร์ชที่ผ่านกระบวนการเจลาติไนเซชั่น จะอยู่ในสภาพของโซล (sol) หรือเจล สตาร์ชขณะที่ยังร้อนอยู่มีความสามารถในการไหลได้ เนื่องจากสตาร์ชละลายอยู่ในเฟสของแข็ง (solid phase) โดยมีน้ำเป็นเฟสต่อเนื่อง (continuous phase) หรืออยู่ในสภาพของโซล แต่เมื่อเฟสเย็นตัวลงพบว่าจะกลายสภาพเป็นเจล เนื่องจากระบบมีการสูญเสียพลังงานในระหว่างการลดอุณหภูมิเป็นผลให้สายโซ่โพลิเมอร์เกิดการเคลื่อนที่ช้าลง ก่อให้เกิดการสร้างพันธะระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กัน พันธะที่เกิดขึ้นนี้แตกออกได้ง่ายเมื่อระบบยังมีอุณหภูมิสูง ทำให้เฟสเกิดการเคลื่อนที่ได้ แต่เมื่อทำการลดอุณหภูมิอย่างช้า ๆ พบว่าเฟสจะกลายเป็นเจลได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างร่างแหที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์ และพบว่าแกรนูลที่เหลืออยู่จะติดอยู่ในโครงสร้างร่างแห ในสภาพของเจลนี้จะพบว่าน้ำกลายเป็นเฟสกระจายตัว (dispersed phase) และโครงสร้างร่างแหกลายเป็นเฟสต่อเนื่อง ทำให้สมบัติการไหลของเจลลดลง

3.2.3. การวิเคราะห์คุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยวหลังผ่านการนึ่ง

คุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ต้องการหลังผ่านเครื่องนึ่งออกมาแล้วนั้น สามารถวิเคราะห์เป็นส่วนหลักๆ ได้ดังนี้

3.2.3.1 ความชื้น
หลังจากนึ่งเส้นก๋วยเตี๋ยวนั้นความชื้นที่ต้องการอยู่ที่ 40-50 เปอร์เซ็นต์ หากความชื้นสูงเกินไปก็จะทำให้ใช้พลังงานในการอบแห้งสูงและเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ออกมาอาจจะขาดได้
3.2.3.2 ความหนา
ความหนาของเส้นก๋วยเตี๋ยว มีผลต่อการลวกเส้นก่อนการรับประทานหากมีความหนาเกินไปก็จะทำให้ใช้เวลาในการลวกนานเกินไป นอกจากนั้นจะทำให้ใช้เวลาในการนึ่งและอบแห้งมากขึ้นด้วย
3.2.3.3 เปอร์เซ็นต์การสุก
เมื่อน้ำแป้งเข้าสู่เครื่องนึ่งหากได้ความร้อนไม่ทั่วถึงหรือได้รับความร้อนไม่เพียงพอ ทำให้การเกิดเจลไม่สมบูรณ์ส่งผลต่อคุณภาพก๋วยเตี๋ยว เช่น ความใสของเส้นก๋วยเตี๋ยว
3.2.3.4 สี
หากใช้เวลาในการนึ่งนานเกินไปจะทำให้สีของก๋วยเตี๋ยวเปลี่ยนไปได้ เนื่องจากความร้อนจะทำให้โปรตีนในแป้งเปลี่ยนสภาพทำให้สีเปลี่ยนไป

3.3 การใช้ไอน้ำในอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยว

ระบบให้ความร้อนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมที่นิยมอย่างหนึ่ง คือ ระบบไอน้ำเนื่องจากไอน้ำเป็นตัวพาพลังงานที่ดี สามารถส่งด้วยระบบท่อไอน้ำได้โดยอาศัยความดันไอน้ำที่สูงกว่าไปยังจุดที่ใช้งานที่มีความดันต่ำกว่า การใช้ไอน้ำในอุตสาหกรรมสะดวกเนื่องจากสามารถควบคุมความดันและอุณหภูมิใช้งานที่หม้อไอน้ำได้โดยตรง นอกจากนี้ต้นทุนในการผลิตไอน้ำไม่สูงมากเนื่องจากประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำซึ่งเป็นต้นกำลังค่อนข้างสูง ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตก๋วยเตี๋ยวพลังงานที่ได้จากไอน้ำนำไปใช้ในสองส่วนหลักก็คือ กระบวนการนึ่ง และกระบวนการอบแห้งโดยทั้งสองกระบวนการนั้นถือเป็นกระบวนการหลักสำหรับการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นแห้ง ส่วนของการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นสดนั้นกระบวนการนึ่งถือเป็นหัวใจหลัก ดังนั้นการใช้พลังงานไอน้ำอย่างคุ้มค่าจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตสูงขึ้นและช่วยลดต้นทุนในการผลิตด้วย

3.3.1 ไอน้ำ

ไอน้ำ คือ การเปลี่ยนสถานะของน้ำให้กลายเป็นไอน้ำ อุณหภูมิของน้ำจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำ โดยใช้ความร้อนสัมผัส เมื่อเพิ่มความร้อนต่อไปอุณหภูมิจะคงที่ ในช่วงนี้คือความร้อนแฝง น้ำจะเกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ ดังนั้นถ้าต้องการเปลี่ยนน้ำ 1 กิโลกรัมให้กลายเป็นไอน้ำต้องใช้ความร้อนประมาณ 2,258 กิโลจูล

3.3.1.1 ไอน้ำอิ่มตัว

มีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนสูง เนื่องจากไอน้ำมีความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสะสมไว้ โดยอุณหภูมิของไอน้ำจะเท่ากับอุณหภูมิจุดเดือด ซึ่งไอน้ำที่ได้จากการต้มน้ำในภาชนะเปิดจะมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็นกาต้มน้ำในภาชนะปิด ไอน้ำที่เกิดขึ้นจะไม่มีทางออก ทำให้เกิดความดันไอน้ำขึ้น อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำก็จะสูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิของไอน้ำสูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ จึงเรียกว่า ไอน้ำอิ่มตัว ส่วนอุณหภูมิของไอน้ำที่ผันแปรตามความดันของไอน้ำเรียกว่า อุณหภูมิอิ่มตัว

3.3.1.2 ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

ความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กิโลกรัม ที่ 100 องศาเซลเซียส กลายเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2,258 กิโลจูล และมีค่ามากกว่าปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำจาก 24 องศาเซลเซียส ร้อนจนถึงจุดเดือด 100 องศาเซลเซียส (318 กิโลจูล) ถึง 7 เท่า ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอจะถูกปล่อยออกมาให้กับภาชนะบรรจุนั้น อากาศหรือก๊าซร้อนใดๆ จะมีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนได้สูงไม่เหมือนไอน้ำ อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางให้ความร้อนทั้งในการเตรียมและในการทำ ให้อาหารกระป๋องปลอดเชื้อ ดังนั้นไอน้ำที่ผลิตขึ้นมาเพื่อจะจ่ายให้กับหน่วยการผลิตต่างๆต้องมีคุณภาพและปริมาณมากพอให้เหมาะสมกับหน่วยการผลิตนั้นๆ ตลอดเวลา

3.3.1.3 ความจุความร้อน

ความจุความร้อนของน้ำ ความจุความร้อนของของเหลว หรือความร้อนสัมผัส (h_f) ของน้ำ คือพลังงานของความร้อนที่ต้องการใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจากจุดอ้างอิงที่ศูนย์องศาเซลเซียส (0°C) ไปจนถึงอุณหภูมิปัจจุบันของน้ำ ที่จุดอ้างอิง 0 องศาเซลเซียส นั้น ความจุความร้อนของน้ำถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นจึงจะทราบค่าความจุความร้อนของสถานะอื่นๆ โดยการวัดจากสถานะอ้างอิงนี้ ความร้อนสัมผัส เคยเป็นชื่อที่ถูกเรียกเพราะว่า ความร้อนที่ให้แก่น้ำจะทำให้อุณหภูมิเปลี่ยน อย่างไรก็ตามชื่อที่นิยมใช้เรียกในปัจจุบัน คือ ความจุความร้อนของของเหลว หรือความจุความร้อนของน้ำที่ความดันบรรยากาศ (0 bar g) น้ำจะเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส และต้องใช้พลังงาน

419 กิโลจูล (kJ) ในการทำน้ำให้ร้อนและมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 0 องศาเซลเซียส ไปยังจุดเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส จากค่าต่างๆ เหล่านี้ จึงทำให้ทราบว่า ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (c_p) คือ 4.19kJ/kg °C ซึ่งส่วนใหญ่คำนวณได้จากช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส ความจุความร้อนของการระเหย หรือ ความร้อนแฝง (h_{fg}) คือปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้ในการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำที่อุณหภูมิจุดเดือดให้กลายเป็นไอ โดยไม่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนอุณหภูมิของส่วนผสมระหว่างไอน้ำต่อน้ำและพลังงานทั้งหมดจะถูกใช้ไปในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (น้ำ) ไปเป็นไอ (ไอน้ำอิ่มตัว) ความร้อนแฝงเป็นชื่อเก่าที่เคยใช้เนื่องจากความจริงที่ว่า แม้ว่าจะเพิ่มความร้อนเข้าไป แต่ก็ไม่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงในขณะที่น้ำแข็งเปลี่ยนไปเป็นน้ำ ส่วนกระบวนการระเหยก็สามารถย้อนกลับได้เช่นกันโดยปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้เพื่อผลิตไอน้ำจะถูกปล่อยกลับคืนสู่สภาวะแวดล้อมในระหว่างการควบแน่น คือ เมื่อน้ำไปจับตัวอยู่ที่พื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งอาจพิจารณาได้ว่าสิ่งนี้เป็นประโยชน์ของความร้อนในไอน้ำสำหรับกระบวนการให้ความร้อน เนื่องจากความร้อนนี้เป็นส่วนหนึ่งของความร้อนทั้งหมดในไอน้ำที่ถูกดึงออกมาเมื่อไอน้ำควบแน่นกลับกลายเป็นของเหลว ความจุความร้อนของไอน้ำอิ่มตัว หรือความร้อนรวมของไอน้ำอิ่มตัว นี่คือความร้อนทั้งหมดที่มีอยู่ในไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งก็คือผลรวมของความจุความร้อนของน้ำและความจุความร้อนของการระเหย

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

โดยที่

h_g = ความจุความร้อนรวมของไอน้ำอิ่มตัว (ความจุความร้อนทั้งหมด) (กิโลจูล/กิโลกรัม)

h_f = ความจุความร้อนของของเหลว (ความร้อนสัมผัส) (กิโลจูล/กิโลกรัม)

h_{fg}= ความจุความร้อนของการระเหย ((ความร้อนแฝง) (กิโลจูล/กิโลกรัม)

ความจุความร้อน และคุณสมบัติอื่นๆ ของไอน้ำอิ่มตัว นี้หาแหล่งอ้างอิงได้ง่ายโดยใช้ตารางผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองในครั้งก่อนๆ เรียกว่า ตารางไอน้ำ ซึ่งจะระบุคุณสมบัติของไอน้ำที่ค่าความดันต่างๆ กัน โดยเป็นผลลัพธ์จริงๆ ของการทดลองไอน้ำ

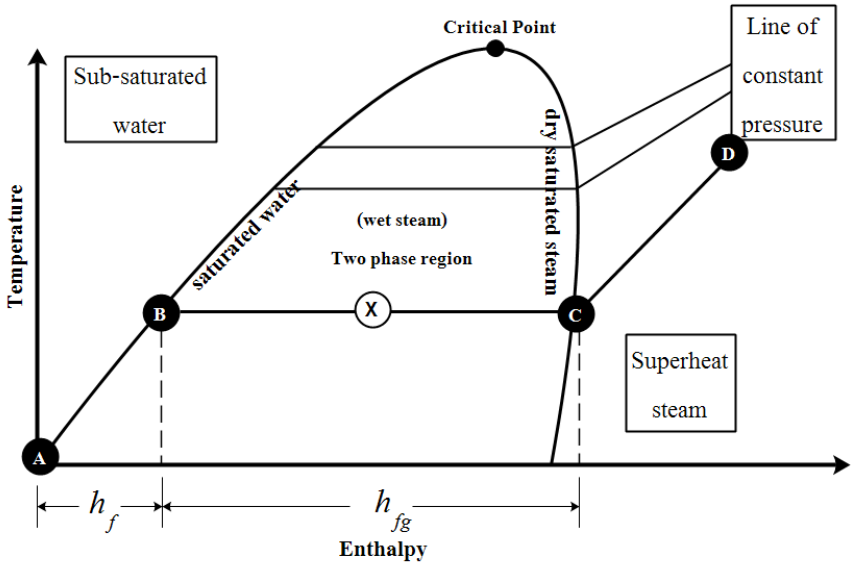
3.3.1.4 เศษส่วนความแห้ง

ไอน้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือด ณ ความดันนั้น เป็นที่รู้จักว่าเป็นไอน้ำอิ่มตัวแห้งอย่างไรก็ตาม การที่จะผลิตไอน้ำแห้งได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในภาคอุตสาหกรรมซึ่งหม้อไอน้ำถูกออกแบบมาเพื่อผลิตไอน้ำอิ่มตัวนั้นเป็นสิ่งที่เป็นไปได้น้อยมากและไอน้ำก็มักจะมีหยดน้ำอยู่เป็นธรรมดา ในทางปฏิบัติแล้วในขณะที่ฟองไอน้ำกำลังลอยขึ้นผิวน้ำ พื้นที่ของไอน้ำก็มีหยดน้ำปนอยู่กับไอน้ำอยู่ด้วย ถ้าปริมาณน้ำในไอน้ำอยู่ที่ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะกล่าวได้ว่าจะมีไอน้ำแห้งอยู่ 95 เปอร์เซ็นต์ และเศษส่วนของความแห้งก็จะมีค่าเท่ากับ 0.95 ค่าความจุความร้อนจริงๆ ของการระเหยของไอน้ำเปียกจึงเป็นผลคูณ

ของเศษส่วนความแห้ง (x) และค่าความจุความร้อนจำเพาะ (h_{fg}) ที่ได้จากตารางไอน้ำ ไอน้ำเปียกจะมีพลังงานความร้อนที่ใช้ได้อยู่น้อยกว่าพลังงานความร้อนในไอน้ำแห้งอิ่มตัวความจุความร้อนจริงของการระเหยเท่ากับ h_{fgx} เพราะฉะนั้น ความจุความร้อนจริงของการระเหยเท่ากับ $h_f + h_{fgx}$ เนื่องจากปริมาตรจำเพาะของน้ำมีค่าน้อยกว่าของไอน้ำอยู่มากหลายเท่าตัว หยดน้ำในไอน้ำเปียกจึงใช้พื้นที่น้อยมาก ฉะนั้นปริมาตรจำเพาะของไอน้ำเปียกจึงมีค่าน้อยกว่าปริมาตรจำเพาะของไอน้ำแห้ง ปริมาตรจำเพาะจริงเท่ากับ h_{gx} โดยที่ v_g คือปริมาตรจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัวแห้ง

3.3.1.5 แผนภาพสถานะของไอน้ำ

ข้อมูลที่ให้มาในตารางไอน้ำสามารถถูกแสดงเป็นรูปภาพได้ดัง รูปที่ 2 ซึ่งจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความจุความร้อนและอุณหภูมิที่ความดันหลายๆ ค่าและเป็นที่รู้จักกันในชื่อ แผนภาพสถานะ (เฟสไดอะแกรม)



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงสถานะอุณหภูมิและความจุความร้อน
(ที่มา : สไปแร็กซ์ ซาร์โก, พ.ศ.2539)

เมื่อน้ำถูกทำให้ร้อนขึ้นจาก 0 องศาเซลเซียส ไปจนถึงอุณหภูมิอิ่มตัวก็จะมีเงื่อนไขเป็นไปตามแนวเส้นของเหลวอิ่มตัวไปจนกระทั่งได้รับความจุความร้อน h_f ทั้งหมด (จากจุด A ถึง B) ถ้ายังคงให้ความร้อนต่อไป มันก็จะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำอิ่มตัวและมีความจุความร้อนเพิ่มขึ้นในขณะที่ยังคงมีอุณหภูมิอิ่มตัว (h_{fg}) เท่าเดิม (จากจุด B ถึง C) ในขณะที่ส่วนผสมของไอน้ำและน้ำมีความแห้งเพิ่มขึ้นก็จะเปลี่ยนสถานะจากแนวเส้นของเหลวอิ่มตัวไปยังแนวเส้นไอน้ำอิ่มตัว เพราะฉะนั้นที่จุดกึ่งกลางระหว่างสองสถานะนี้ ค่าเศษส่วนของความแห้ง (x) จึงมีค่าเท่ากับ 0.5 เช่นเดียวกัน ในแนวเส้นไอน้ำอิ่มตัวนั้นไอน้ำก็จะแห้ง 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมันได้รับความจุความร้อนของการระเหยทั้งหมดแล้วก็จะ

อยู่ในแนวเส้นของไอน้ำอิ่มตัวหลังจากจุดนี้ไปแล้วถ้ายังมีการให้ความร้อนต่อไป อุณหภูมิของไอน้ำก็จะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากมีการดงไอขึ้น (จุด C ถึง D) แนวเส้นของเหลวอิ่มตัวและแนวเส้นไอน้ำอิ่มตัวจะล้อมรอบพื้นที่มีไอน้ำและน้ำอยู่ร่วมกัน คือ ไอน้ำเปียก บริเวณด้านซ้ายของแนวเส้นของเหลวอิ่มตัวจะมีแต่น้ำเท่านั้น ส่วนในพื้นที่ด้านขวางของแนวเส้นไอน้ำอิ่มตัวก็จะมีแต่ไอน้ำที่ถูกดงแล้วเท่านั้น จุดที่แนวเส้นของเหลวอิ่มตัวมาพบกับแนวเส้นไอน้ำอิ่มตัวเรียกว่า จุดวิกฤติ เมื่อความดันเพิ่มขึ้นในขณะที่เคลื่อนที่เข้าสู่จุดวิกฤติ ค่าความจุของความร้อนของการระเหยจะลดลงจนกระทั่งกลายเป็นศูนย์ที่จุดวิกฤตินั่นคือ น้ำจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำอิ่มตัวได้โดยตรงที่จุดวิกฤติเหนือจากจุดวิกฤติขึ้นไปนี้ จะมีแต่ก๊าซเท่านั้น สถานะก๊าซเป็นสถานะที่มีการแพร่กระจายของโมเลกุลซึ่งมีการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระและมีปริมาตรเพิ่มขึ้นได้โดยไม่มีขีดจำกัดเมื่อมีความดันลดลง จุดวิกฤติเป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุดที่ของเหลวจะมีอยู่ได้ เมื่อมีแรงอัดใดๆ ในขณะที่อุณหภูมิคงที่เหนือจุดวิกฤติจะไม่ทำให้สถานะเปลี่ยนไป ส่วนการให้แรงอัดใดๆ ในขณะที่มีอุณหภูมิคงที่ซึ่งต่ำกว่าจุดวิกฤตินั้นจะทำให้ไอน้ำเปลี่ยนสภาพกลายเป็นของเหลว เมื่อได้ผ่านจากเขตไอดงไปยังเขตพื้นที่ของไอน้ำเปียก จุดวิกฤติของไอน้ำคือที่ 374.15 องศาเซลเซียส และมีความดัน 212 บาร์ ที่ความดันมากกว่านี้ ไอน้ำจะถูกเรียกว่าเหนือวิกฤติและยังไม่มีการระบุจุดเดือดที่แน่นอน

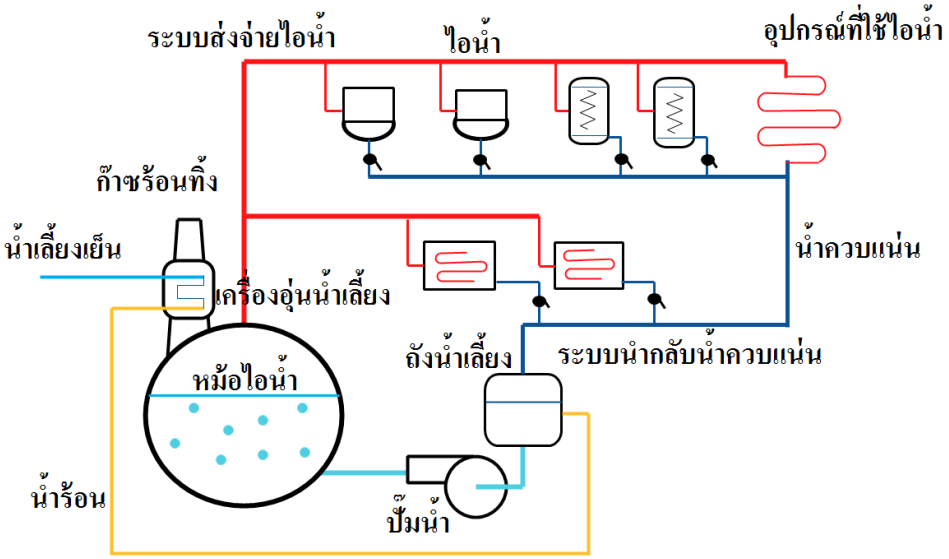
3.3.1.6 ข้อดีของระบบไอน้ำ

1. น้ำเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นที่มีอยู่ทั่วไป หาง่าย เก็บรักษาง่ายและราคาไม่แพง
2. ไอน้ำเป็นตัวกลางที่มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ดีมากเพราะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง
3. มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะและคุณสมบัติด้านพลังงานอย่างแน่นอนคงที่
4. เป็นพลังงานที่สะอาดสามารถใช้กับอาหารได้โดยตรง
5. ไอน้ำสามารถถูกส่งไปยังจุดที่ต้องการใช้ได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ
6. ไอน้ำมีความยืดหยุ่นและควบคุมได้ง่ายในการใช้งาน

3.3.2 ส่วนประกอบของระบบไอน้ำ

ระบบไอน้ำเป็นระบบพื้นฐานที่มีการใช้งานและสามารถพบเห็นได้ในหลายอุตสาหกรรม ดังรูปที่ 3.6 แสดงองค์ประกอบของระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำ ซึ่งระบบประกอบไปด้วย ส่วนผลิตไอน้ำ ระบบส่งจ่ายไอน้ำ อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ และระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น โดยหลักการทำงานของระบบก็คือ การป้อนน้ำเข้าไปยังส่วนผลิตไอน้ำเพื่อรับความร้อนจากการเผาไหม้จนกระทั่งเป็นไอน้ำ แล้วถูกส่งไปใช้งานตามอุปกรณ์หรือเครื่องจักรต่างๆ ในโรงงาน ด้วยระบบส่งจ่ายไอน้ำ จากนั้น

ไอน้ำหรือน้ำร้อนที่เหลือจากกระบวนการผลิตจะถูกนำกลับมายังส่วนผลิตไอน้ำเพื่อรวมกับน้ำเติมก่อนจะผลิตเป็นไอน้ำต่อไป



รูปที่ 3.6 แผนภาพระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำ
(ที่มา : สไปแร็กซ์ ซาร์โก, พ.ศ.2539)

3.3.2.1 ส่วนผลิตไอน้ำ

ส่วนประกอบหลักในระบบไอน้ำถือเป็นต้นกำลังที่ทำหน้าที่ผลิตไอน้ำให้ได้ความดันและอุณหภูมิใช้งานไปยังจุดที่ต้องการใช้ไอน้ำอย่างต่อเนื่อง อุปกรณ์ที่ผลิตไอน้ำเรียกว่าหม้อไอน้ำ โดยใช้หลักการการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้กับน้ำ เมื่อน้ำได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น จนถึงอุณหภูมิของการระเหยที่ความดันนั้นๆ น้ำก็จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ เมื่อให้ความร้อนต่อไป ไอน้ำจะมีปริมาณมากขึ้น ซึ่งความดันไอน้ำก็จะสูงขึ้นจนถึงความดันที่ต้องการ เรียกว่า ไอน้ำอิ่มตัว การออกแบบหม้อไอน้ำจึงมีอยู่หลายแบบตามความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน โดยในแต่ละแบบก็มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานเป็นหลัก ดังนี้

1. แบ่งตามลักษณะการวางแนวแกนของเปลือกหม้อไอน้ำ
2. แบ่งตามลักษณะการใช้งาน
3. แบ่งตามตำแหน่งการวางเตาไฟ
4. แบ่งตามการไหลของน้ำและแก๊สร้อนที่อยู่ในท่อ
5. หม้อไอน้ำที่สร้างขึ้นมาพิเศษ

3.3.2.1.1 การทำงานของหม้อไอน้ำ

หลักการทำงานของหม้อไอน้ำไม่ว่าจะเป็นแบบใด การทำงานก็จะมีหลักการเหมือนกัน คือ ต้องมีส่วนให้ความร้อน แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อสร้างไอน้ำ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

1. ส่วนใช้ถ่ายเทความร้อน ส่วนนี้จะเป็นส่วนสำคัญทำหน้าที่สร้างความร้อนจากนั้นจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้กับน้ำเพื่อผลิตไอน้ำ
2. ส่วนเก็บน้ำ ทำหน้าที่เก็บน้ำเพื่อใช้สำหรับผลิตไอน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบของหม้อไอน้ำ
3. ส่วนเกินไอน้ำ จะอยู่เหนือส่วนที่เก็บน้ำขึ้นไปทำหน้าที่เก็บไอน้ำไว้ภายในหม้อน้ำและจ่ายออกทางวาล์วเมื่อต้องการใช้

3.3.2.1.2 อุปกรณ์และส่วนควบคุมของหม้อไอน้ำมีชิ้นส่วนสำคัญ ดังนี้

1. มาตรวัดความดันไอน้ำ ทำหน้าที่วัดความดันในหม้อไอน้ำ เพื่อแสดงความดันที่ต้องต้องการ
2. หลอดแก้ววัดระดับน้ำ ทำหน้าที่วัดระดับน้ำในหม้อไอน้ำว่ามีปริมาณมากน้อยเท่าไหร่ เพราะถ้าหากปริมาณน้ำน้อยเกินไปก็อาจจะทำให้เกิดความเสียหายได้
3. เครื่องควบคุมระดับน้ำ ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายน้ำเข้าหม้อไอน้ำ เพื่อรักษาระดับน้ำให้มีระดับคงที่
4. ลิ้นนิรภัย ทำหน้าที่ควบคุมความดันในหม้อไอน้ำไม่ให้สูงเกินกว่าค่าที่กำหนด
5. วาล์วถ่ายน้ำ ทำหน้าที่ปล่อยน้ำที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูงออกจากหม้อไอน้ำ
6. เครื่องควบคุมความดัน ทำหน้าที่ตัดวงจรการเผาไหม้เมื่อความดันสูงถึงตำแหน่งที่ตั้งไว้
7. ปั๊มน้ำเข้าหม้อไอน้ำ ทำหน้าที่ปั๊มน้ำจากถังพักน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ

3.3.2.2 การจ่ายไอน้ำ

อุปกรณ์ต่างๆที่ทำหน้าที่ส่งจ่ายไอน้ำจากหม้อไอน้ำไปยังอุปกรณ์ที่ใช้กับไอน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย ท่อหุ้มฉนวนที่ป้องกันการสูญเสียความร้อน วาล์วควบคุมความดัน อุปกรณ์กับดักไอน้ำซึ่งจะทำหน้าที่กำจัดอากาศที่อยู่ในระบบไอน้ำ ถ้าในระบบยังคงมีอากาศอยู่ อากาศเหล่านั้นจะเข้าไปแทนส่วนที่เป็นพื้นที่ของไอน้ำ ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการพาความร้อนของท่อลดลงและยังไปกั้นไม่ให้ไอน้ำไปถึงที่พื้นผิวถ่ายเทความร้อนให้แก่อุปกรณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตด้วย นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งแล้วแต่ความต้องการใช้งานหรือผู้ผลิตจะออกแบบ

3.3.2.2.1 การกำหนดขนาดของท่อไอน้ำ

การกำหนดขนาดของท่อส่งไอน้ำให้เหมาะสมกับอัตราการใช้ไอน้ำเป็นสิ่งสำคัญ ถ้าท่อมีขนาดเล็กเกินไป ทำให้ต้องมีการใช้ความดันสูงกว่าที่ต้องการ แต่ถ้าหากมีขนาดใหญ่เกินไปก็จะทำให้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง

3.3.2.2.2 การกำหนดฉนวนกันความร้อน

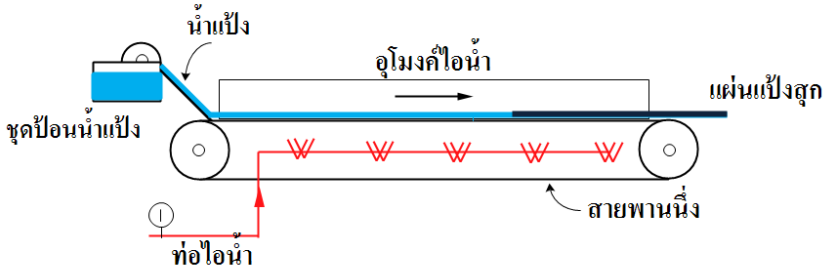
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่สูญเสียของระบบท่อไอน้ำที่หุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนพบว่ามีค่าแตกต่างกันมาก อีกทั้งการพิจารณาชนิดและคุณสมบัติพร้อมทั้งความหนาของวัสดุฉนวนก็มีความสำคัญ ดังนั้น เพื่อป้องกันการสูญเสียที่เกิดขึ้นการลงทุนในเรื่องของฉนวนหุ้มท่อไอน้ำจึงมีความสำคัญอย่างมาก

3.3.2.3 อุปกรณ์ใช้ไอน้ำ

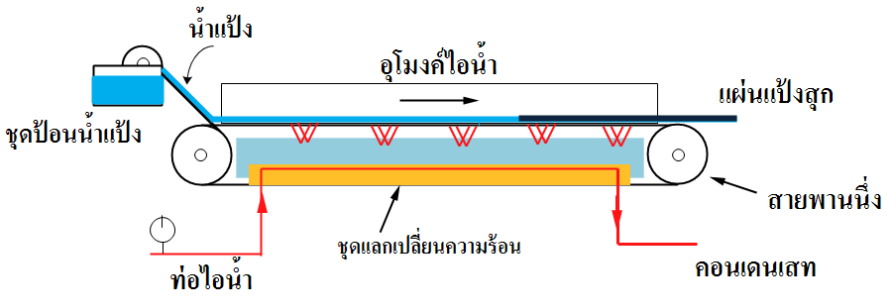
การใช้อุปกรณ์ที่ใช้กับไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด จะทำให้การจ่ายไอน้ำมีปริมาณที่เหมาะสมและมีคุณภาพเป็นความต้องการประการแรกที่สำคัญ เพื่อให้การผลิตมีคุณภาพ ไอน้ำต้องมีความดันที่ถูกต้องตรงกับความต้องการของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิต และคุณสมบัติประการต่อมาจะเป็นเรื่องของอุณหภูมิที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีหรืออุณหภูมิสูงขึ้นของไอน้ำ เพื่อเร่งกระบวนการผลิตให้เร็วขึ้น โดยเครื่องจักรที่ใช้ไอน้ำในงานวิจัยนี้ คือ เครื่องนึ่งเส้นก๋วยเตี๋ยว

3.3.2.3.1 เครื่องนึ่งแผ่นก๋วยเตี๋ยว

ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวนั้นกระบวนการนึ่งเป็นขั้นตอนที่ทำให้น้ำแป้งจากการผสมสูตรขึ้นรูปให้เป็นแผ่นโดยลักษณะเครื่องนึ่งเป็นสายพานผ้า ให้ความร้อนด้วยไอน้ำจากหม้อน้ำโดยตรง เครื่องนึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนป้อนน้ำแป้ง ส่วนนึ่ง ส่วนนำแผ่นก๋วยเตี๋ยวออก



รูปที่ 3.7 ลักษณะการทำงานและส่วนประกอบของเครื่องนึ่งก๋วยเตี๋ยวที่ใช้ในปัจจุบัน



รูปที่ 3.8 ลักษณะการทำงานและส่วนประกอบของเครื่องนึ่งก๋วยเตี๋ยวแบบใหม่

3.3.2.4 ระบบนำคอนเดนเสทกลับมาใช้งาน

ไอน้ำเมื่อสูญเสียความร้อนแฝงจะกลั่นตัวเป็นน้ำที่เรียกว่าคอนเดนเสท ซึ่งคอนเดนเสทยังมีความร้อนสัมผัสสะสมอยู่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ โดยการใช้ไอน้ำตามโรงงานสามารถแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ ระบบวงจรปิดและแบบวงจรเปิด ความร้อนที่ถูกใช้จะเป็นเพียงความร้อนแฝงเท่านั้น คอนเดนเสทที่เหลือจากกระบวนการต่างๆ แล้วจะมีความร้อนเหลืออยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความร้อนที่ให้กับหม้อไอน้ำโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความร้อนในไอน้ำที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ นอกจากนี้คอนเดนเสทยังเป็นน้ำที่สะอาดและผ่านการผสมสารเคมี เพื่อป้องกันหรือลดตะกรันภายในหม้อแล้ว ดังนั้นการนำคอนเดนเสทกลับเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำจึงได้รับประโยชน์ คือ ลดการสูญเสียความร้อนที่ออกไปกับคอนเดนเสท และประหยัดน้ำที่ต้องใช้เข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำและลดปริมาณโบล์วดาวน์ลง ทำให้ลดพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับโบล์วดาวน์ โดยการนำคอนเดนเสทกลับนั้นสามารถนำกลับได้ 3 วิธี ดังนี้

3.3.2.4.1 อาศัยแรงโน้มถ่วง

วิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดที่สุดในการนำเอาน้ำร้อนกลับเข้าสู่หม้อไอน้ำ เพราะอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก แต่ในทางปฏิบัตินั้นวิธีนี้สามารถทำได้ยากเนื่องจากระดับของเครื่องจักรกับหม้อน้ำนั้นมักไม่อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะของการจัดระบบท่อแบบนี้

3.3.2.4.2 โดยใช้ความดัน

ในระบบนี้น้ำร้อนจะถูกส่งกลับโดยการใช้ความดันของไอน้ำภายในตัวดักไอน้ำ ระบบท่อน้ำร้อนจะยกสูงกว่าระดับถังพักน้ำภายในห้องหม้อไอน้ำ เพราะฉะนั้นความดันที่ใช้ในการดันน้ำร้อนขึ้นที่สูงจะต้องมากกว่าแรงต้านทานการไหลของน้ำร้อนภายในท่อและความดันต่างๆที่เกิดขึ้นจากถังพักน้ำ ในขณะที่เริ่มต้นใช้งานของเครื่องจักรจะเกิดปริมาณน้ำร้อนจำนวนมากซึ่งจะทำให้ความดันของไอน้ำต่ำลง อันจะทำให้ไม่สามารถผลักดันน้ำร้อนกลับไปได้ ด้วยเหตุผลนี้การใช้งานตอนเริ่มต้นจะช้าลงมากและอาจจะทำให้เกิดการกระแทกของน้ำร้อนภายในท่อ ถ้าเครื่องจักรที่ใช้ไอน้ำในลักษณะควบคุมอุณหภูมิ เราจะพบว่าความดันไอน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และ

ความดันไอน้ำแปรผันมากจนกระทั่งเกิดความดันต่ำกว่า 0 บาร์ ซึ่งจะดูดน้ำร้อน ให้อยู่ภายในเครื่องจักร และไม่มีความดันมากพอที่จะผลักดันน้ำร้อนกลับไปได้ ผลที่ได้จะทำให้เกิดการสะสมน้ำร้อน ภายในระบบ ทำให้อุณหภูมิต่ำลงหรือไม่ได้ตามต้องการและอาจจะเกิดการกระแทกของน้ำร้อนภายในระบบและประสิทธิภาพของขบวนการผลิตรวมทั้งคุณภาพจะลดลงมาก

3.3.2.4. โดยวิธีการใช้ปั๊ม

การนำน้ำร้อนกลับโดยวิธีนี้ ทำได้โดยพยายามนำหลักการของการใช้แรงโน้มถ่วงมาช่วยน้ำร้อนจะไหลด้วยการใช้แรงโน้มถ่วงออกมาสู่ถังพักที่เปิดสู่บรรยากาศและมีปั๊มคอยสูบน้ำร้อนกลับสู่ถังพักภายในห้องหม้อน้ำ การเลือกใช้ชนิดของปั๊มเป็นสิ่งที่สำคัญมากเพื่อจะหลีกเลี่ยงปัญหาต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นจากการสูบน้ำร้อนกลับปั๊มไฟฟ้านั้นไม่เหมาะสมกับงานในลักษณะนี้ การสูบน้ำของปั๊มไฟฟ้าเกิดขึ้นโดยการหมุนของใบพัด การหมุนของใบพัดจะทำให้ความดันขาเข้าของปั๊มลดลงและตำแหน่งที่ความดันต่ำสุดจะอยู่ตรงกลางของใบพัด น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ ถ้าความดันเกิดลดลงจะมีผลทำให้น้ำร้อนบางส่วนไม่สามารถคงตัวเองในสถานะของเหลวได้ (ความดันที่ต่ำลงจะทำให้จุดเดือดต่ำลงด้วย) พลังงานส่วนเกินของน้ำร้อนจะทำให้น้ำร้อนบางส่วนกลายเป็นไออีกครั้ง หลังจากน้ำร้อนผ่านจุดที่ความดันต่ำสุดแล้วความดันของน้ำร้อนจะเริ่มสูงขึ้น ฟองไอน้ำ จะหดหายไปอย่างรวดเร็ว อันเนื่องมาจากความดันสูงขึ้นน้ำร้อนจะเข้าแทนที่ด้วยความเร็วสูง เราเรียกเหตุการณ์แบบนี้ว่า cavitation ผลของมันจะทำให้ใบพัดและตลับลูกปืนเสียหายและมอเตอร์ไฟฟ้าของปั๊มน้ำจะไหม้การป้องกันทำได้โดยการเพิ่มความดันของน้ำตรงท่อทางเข้าของปั๊ม คือ การยกถังน้ำร้อนให้สูงขึ้นหรือการลดอุณหภูมิของน้ำร้อน การเพิ่มความดันของน้ำตรงท่อทางเข้าของปั๊ม ทำได้โดยการเพิ่มความสูงของถังพักให้สูงกว่าตัวปั๊มหลายเมตร ความสูงของถังไม่ควรเกินกว่า 3 เมตร น้ำร้อนจะมีความดันไหลออกจากอุปกรณ์ไปสู่ถังพักโดยการไหลขึ้นสู่ที่สูง ท่อนำน้ำร้อนเข้าสู่ถังพักจะอยู่สูงกว่าตัวดักไอน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดความดัน ที่กระทำทางขาออกของตัวดักไอน้ำสูงขึ้นและน้ำร้อน ที่จะไหลออกจากตัวดักไอน้ำ ต้องเดินทางยาวขึ้นการลดอุณหภูมิของน้ำร้อน ทำได้โดยการใช้ถังพักขนาดใหญ่และไม่หุ้มฉนวน เวลาที่ใช้ในการนำน้ำร้อนกลับของถังพักจากจุดที่ระดับน้ำต่ำ ถึงจุดที่ระดับน้ำสูง จะต้องทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อน ต่ำลงถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า จะพบว่าพลังงานความร้อนที่ยังมีประโยชน์ของน้ำร้อน หายไป 30 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นน้ำร้อน ทุกๆลูกบาศก์เมตรที่นำกลับโดยวิธีนี้จะทำให้สูญเสียพลังงาน 83,000 กิโลจูล หรือเท่ากับน้ำมันเชื้อเพลิง 2.03 ลิตร (ความร้อนจำเพาะน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 43,000 กิโลจูลต่อลิตร)