บทที่ 6

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปราย

6.1 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองกับการผลิตน้ำแข็งในโรงงาน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการนำผลการทดลอง จากการทดลองแบบจำลองของกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองในบทที่ 4 เพื่อมาประยุกต์ใช้กับโรงงานน้ำแข็งที่ได้ทำการวัดและบันทึกข้อมูลไว้ในบทที่ 5 โดยที่ผลการทดลองแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองพบแนวโน้มของการลดอัตราการจ่ายอากาศลงซองน้ำแข็ง โดยน้ำแข็งซองที่ได้ยังมีลักษณะใส และจากการเก็บข้อมูลของอัตราการจ่ายอากาศลงในซองน้ำแข็งในบทที่ 5 พบว่าอัตราการจ่ายอากาศเฉลี่ยที่วัดได้ในการผลิตน้ำแข็งซองจากโรงงานมีค่าประมาณ 16.98 ลิตรต่อนาที ซึ่งที่อัตราการจ่ายอากาศลงซองดังกล่าว น้ำแข็งที่ผลิตได้มีลักษณะใส

การลดอัตราการจ่ายอากาศที่จ่ายโดยการลดจำนวนเครื่องอัดอากาศ หรือการใช้เครื่องอัดอากาศที่มีขนาดเล็กลง เป็นวิธีที่ช่วยลดการใช้พลังงาน และประหยัดค่าใช้จ่ายของโรงงาน ทั้งส่วนของราคาของเครื่องจักรและค่าดำเนินการ การลดอัตราการจ่ายลงต้องพิจารณาถึงความขุ่นของน้ำแข็งที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากการลดอัตราการจ่ายจะทำให้แนวโน้มการเกิดความขุ่นเพิ่มขึ้น รวมทั้งการพิจารณาเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งซอง

การสรุปผลการทดลองจากแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศที่จ่ายลงซองน้ำแข็ง ที่แสดงไว้ในภาคผนวก สามารถสรุปได้ ดังนี้

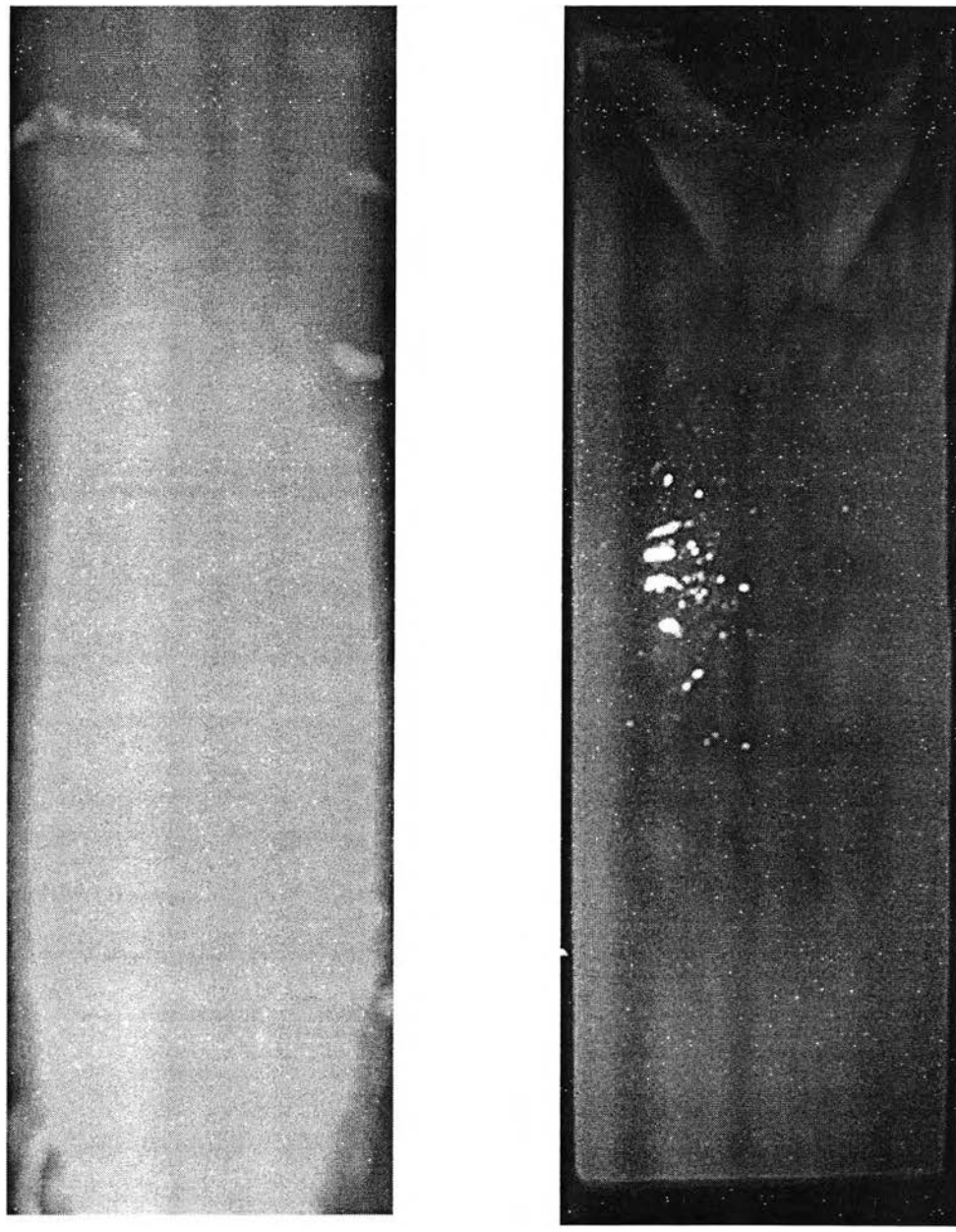
- เมื่อทำการทดลองโดยไม่มีการจ่ายอัตราการจ่ายอากาศแสดงไว้ในรูปที่ 6.1 (ก) พบว่าน้ำแข็งซองที่ไม่มีอากาศจ่ายลงซองมีลักษณะขุ่นมาก ใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็งประมาณ 1 ชั่วโมง 53 นาที
- เมื่อปรับอัตราการจ่ายอากาศที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.1 (ข) พบว่าน้ำแข็งซองที่มีอัตราการอากาศจ่ายลงไป : ว ลิตรต่อนาที มีลักษณะใสมากกว่ากรณีที่ไม่มีอากาศจ่ายลงซอง แต่ยังคงเกิดความขุ่นขึ้น ใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็งประมาณ 1 ชั่วโมง 55 นาที

- เมื่อปรับอัตราการจ่ายอากาศที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.1 (ค) พบว่าน้ำแข็งซองที่มีอัตราการอากาศจ่ายลงไป 1.5 ลิตรต่อนาที มีลักษณะใสไม่เกิดความขุ่นขึ้น ใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็งประมาณ 1 ชั่วโมง 56 นาที
- เมื่อปรับอัตราการจ่ายอากาศที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.1 (ง) พบว่าน้ำแข็งซองที่มีอัตราการอากาศจ่ายลงไป 2.0 ลิตรต่อนาที มีลักษณะใสไม่เกิดความขุ่นขึ้น ใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็งประมาณ 1 ชั่วโมง 57 นาที
- เมื่อปรับอัตราการจ่ายอากาศที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.1 (จ) พบว่าน้ำแข็งซองที่มีอัตราการอากาศจ่ายลงไป 2.5 ลิตรต่อนาที มีลักษณะใสไม่เกิดความขุ่นขึ้น ใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็งประมาณ 1 ชั่วโมง 59 นาที
- เมื่อปรับอัตราการจ่ายอากาศที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.1 (ฉ) พบว่าน้ำแข็งซองที่มีอัตราการอากาศจ่ายลงไป 3.0 ลิตรต่อนาที มีลักษณะใสไม่เกิดความขุ่นขึ้น ใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็งประมาณ 2 ชั่วโมง 1 นาที
- เมื่อปรับอัตราการจ่ายอากาศที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.1 (ช) พบว่าน้ำแข็งซองที่มีอัตราการอากาศจ่ายลงไป 3.5 ลิตรต่อนาที มีลักษณะใสไม่เกิดความขุ่นขึ้น ใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็งประมาณ ชั่วโมง 3 นาที

จากกรณีที่อัตราการจ่ายต่างๆที่กล่าวสรุปในบทนี้ สามารถเขียนสรุปได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 สรุปผลการวัดจากแบบจำลอง

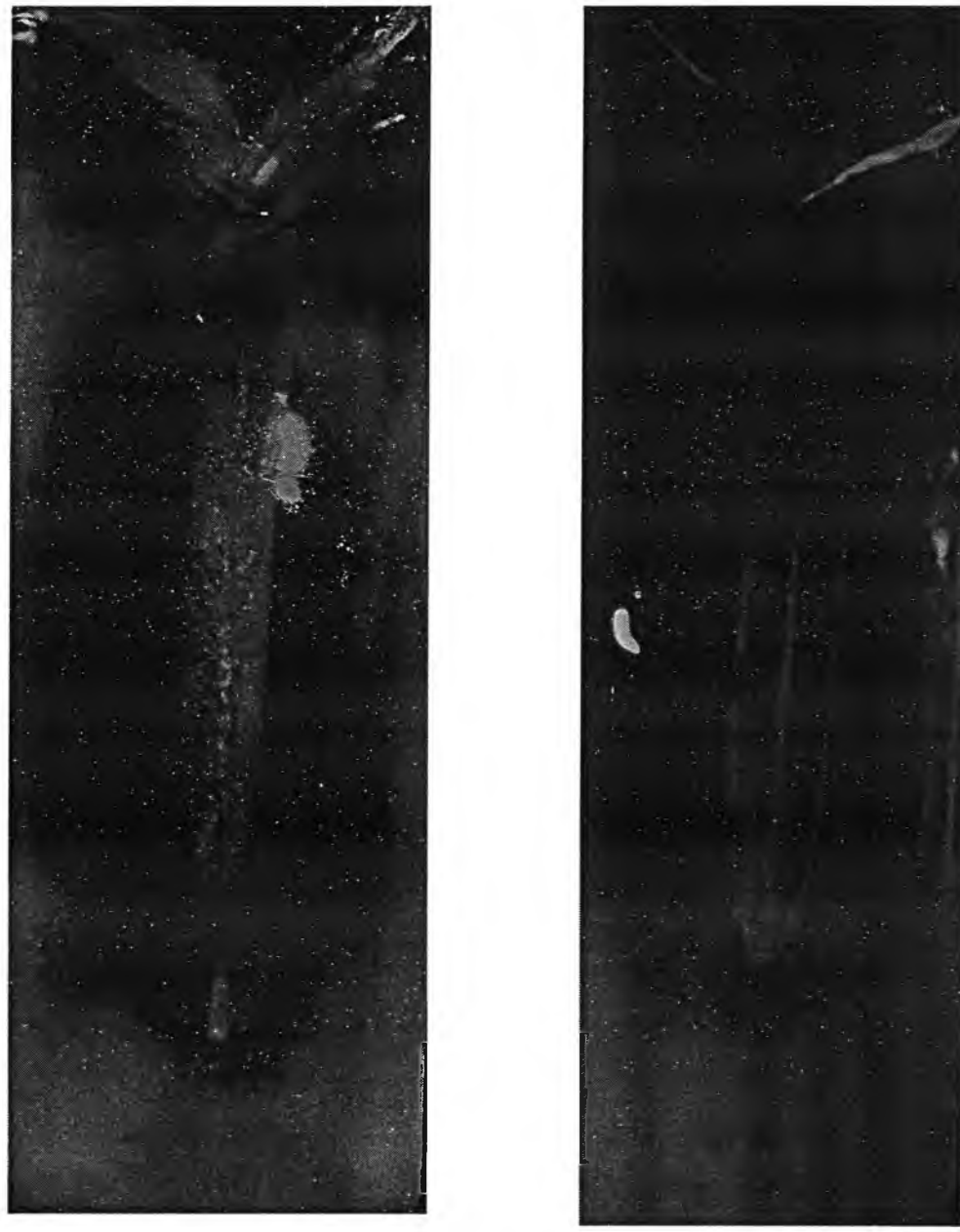
ซองที่	อัตราการจ่ายอากาศ (ลิตรต่อนาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	ความขุ่น	เวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็ง
1	ไม่มีการจ่าย	-9.67	เกิด	1 ชั่วโมง 53 นาที
2	1.0	-9.6	เกิด	1 ชั่วโมง 55 นาที
3	1.5	-9.7	ไม่เกิด	1 ชั่วโมง 56 นาที
4	2.0	-9.68	ไม่เกิด	1 ชั่วโมง 57 นาที
5	2.5	-9.62	ไม่เกิด	1 ชั่วโมง 59 นาที
6	3.0	-9.57	ไม่เกิด	2 ชั่วโมง 1 นาที
7	3.5	-9.67	ไม่เกิด	2 ชั่วโมง 3 นาที



(ก) (ข)

รูปที่ 6.1 (ก) แสดงภาพถ่ายของน้ำแข็งจากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง **ในกรณีที่ไม่มี** การจ่ายอากาศลงซองน้ำแข็ง

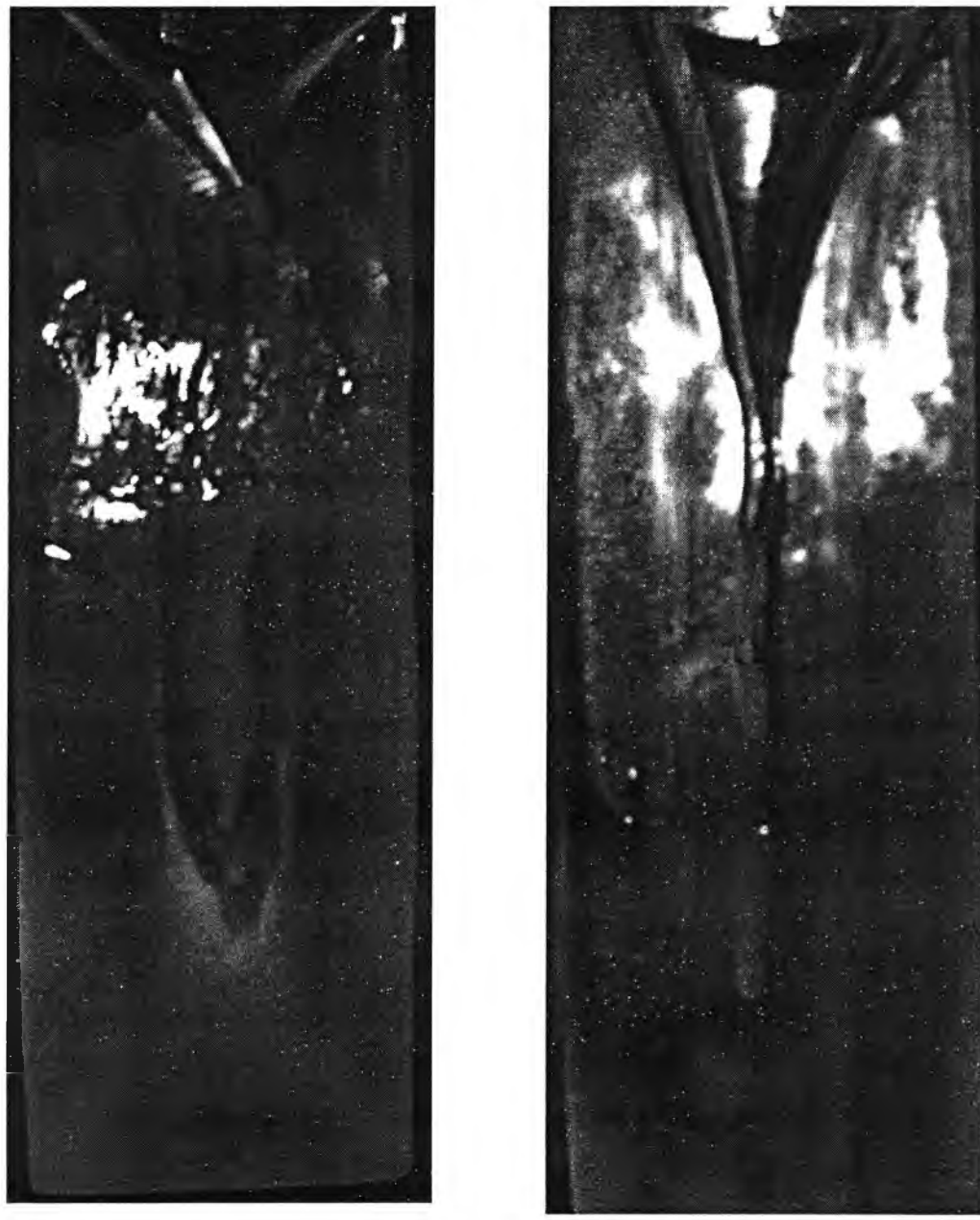
รูปที่ 6.1 (ข) แสดงภาพถ่ายของน้ำแข็งจากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง **ที่อัตรา**การไหล ของอากาศที่จ่ายลงในซองที่อัตรา 1 ลิตรต่อนาที



(ค) (ง)

รูปที่ 6.1 (ค) แสดงภาพถ่ายของน้ำแข็งจากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง ที่อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองที่อัตรา 1.5 ลิตรต่อนาที

รูปที่ 6.1 (ง) แสดงภาพถ่ายของน้ำแข็งจากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง ที่อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองที่อัตรา 2 ลิตรต่อนาที



(จ) (ฉ)

รูปที่ 6.1 (จ) แสดงภาพถ่ายของน้ำแข็งจากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง ที่อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองที่อัตรา 2.5 ลิตรต่อนาที

รูปที่ 6.1 (ฉ) แสดงภาพถ่ายของน้ำแข็งจากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง ที่อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองที่อัตรา 3 ลิตรต่อนาที

(ช)

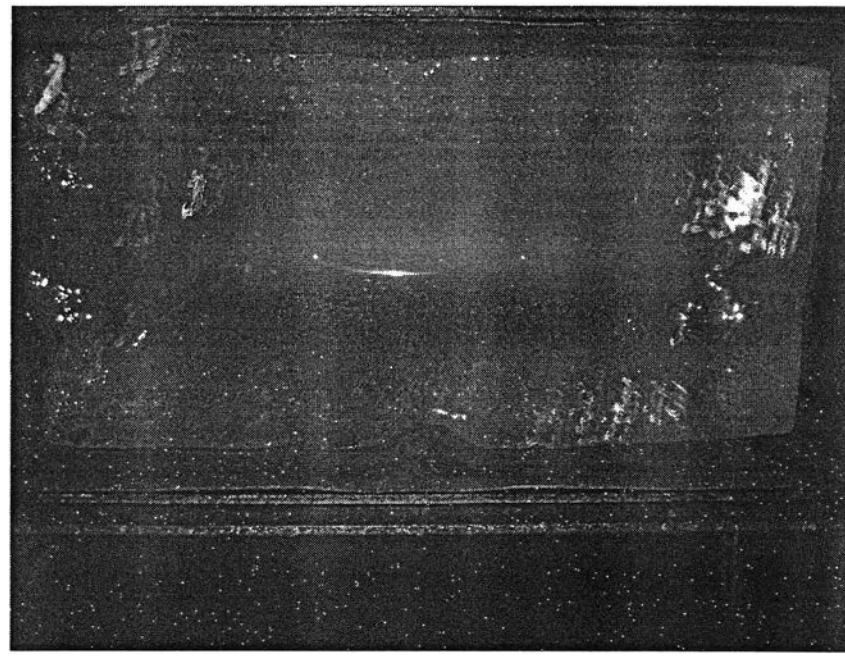
รูปที่ 6.1 (ช) แสดงภาพถ่ายของน้ำแข็งจากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง ที่อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองที่อัตรา 3.5 ลิตรต่อนาที

การสรุปผลการวัดค่าจากโรงงานน้ำแข็งที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศที่จ่ายลงซองน้ำแข็ง ที่แสดงไว้ในภาคผนวก สามารถสรุปได้ดังนี้

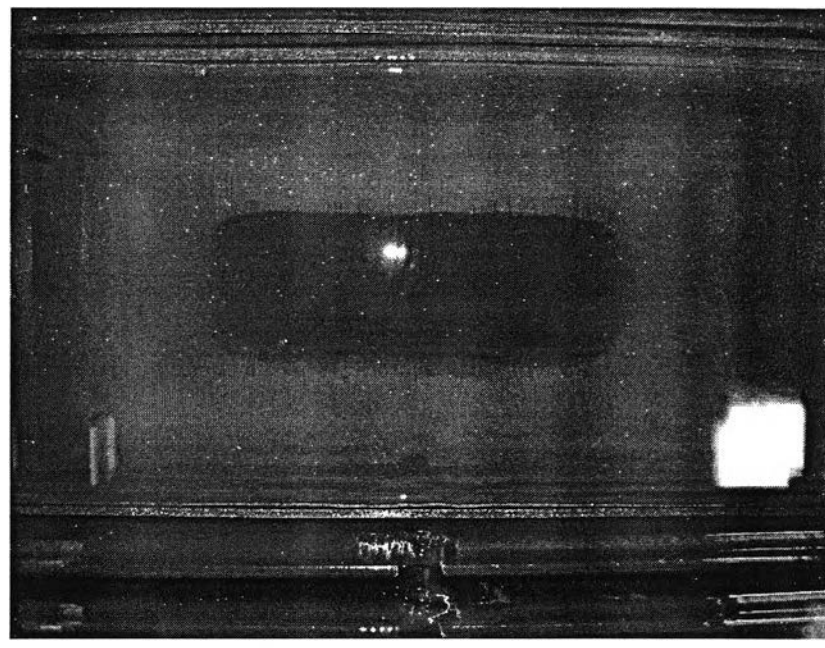
- เมื่อปรับอัตราการจ่ายอากาศที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.2 (ก) พบว่าน้ำแข็งซองที่ไม่มีอากาศจ่ายลงซองมีลักษณะขุ่นมาก ใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็งประมาณ 50 ชั่วโมง 30 นาที
- เมื่อปรับอัตราการจ่ายอากาศที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.2 (ข) พบว่าน้ำแข็งซองที่มีอัตราการอากาศจ่ายลงไป 10.81 ลิตรต่อนาที มีลักษณะใสมากกว่ากรณีที่ไม่มีอากาศจ่ายลงซอง แต่ยังคงเกิดความขุ่นขึ้น ใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็งประมาณ 50 ชั่วโมง 38 นาที
- เมื่อปรับอัตราการจ่ายอากาศที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.2 (ค) พบว่าน้ำแข็งซองที่มีอัตราการอากาศจ่ายลงไป 13.95 ลิตรต่อนาที มีลักษณะใสไม่เกิดความขุ่นขึ้น ใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็งประมาณ 50 ชั่วโมง 40 นาที
- เมื่อปรับอัตราการจ่ายอากาศที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.2 (ง) พบว่าน้ำแข็งซองที่มีอัตราการอากาศจ่ายลงไป 15.72 ลิตรต่อนาที มีลักษณะใสไม่เกิดความขุ่นขึ้น ใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็งประมาณ 50 ชั่วโมง 43 นาที
- เมื่อปรับอัตราการจ่ายอากาศที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.2 (จ) พบว่าน้ำแข็งซองที่มีอัตราการอากาศจ่ายลงไป 18.23 ลิตรต่อนาที มีลักษณะใสไม่เกิดความขุ่นขึ้น ใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็งประมาณ 50 ชั่วโมง 46 นาที
- เมื่อปรับอัตราการจ่ายอากาศที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.2 (ฉ) พบว่าน้ำแข็งซองที่มีอัตราการอากาศจ่ายลงไป 19.46 ลิตรต่อนาที มีลักษณะใสไม่เกิดความขุ่นขึ้น ใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็งประมาณ 50 ชั่วโมง 50 นาที

ตารางที่ 6.2 สรุปผลการวัดจากโรงงานน้ำแข็ง

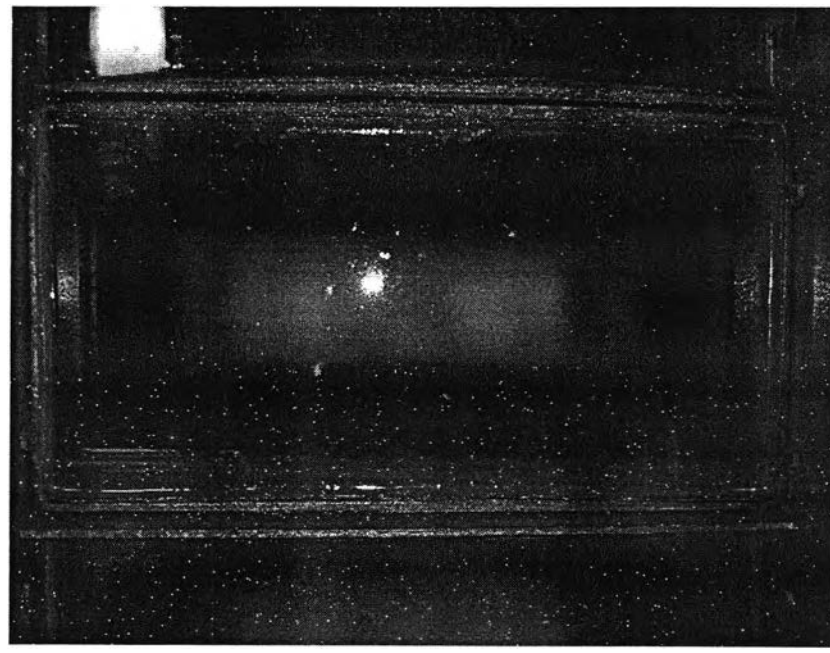
ซองที่	อัตราการจ่ายอากาศ (ลิตรต่อนาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	ความขุ่น	เวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็ง
1	ไม่มีการจ่าย	-8.15	เกิด	50 ชั่วโมง 30 นาที
2	10.81	-8.1	เกิด	50 ชั่วโมง 38 นาที
3	13.95	-8.08	ไม่เกิด	50 ชั่วโมง 40 นาที
4	15.72	-8.07	ไม่เกิด	50 ชั่วโมง 43 นาที
5	18.23	-8.05	ไม่เกิด	50 ชั่วโมง 46 นาที
6	19.46	-8.13	ไม่เกิด	50 ชั่วโมง 50 นาที



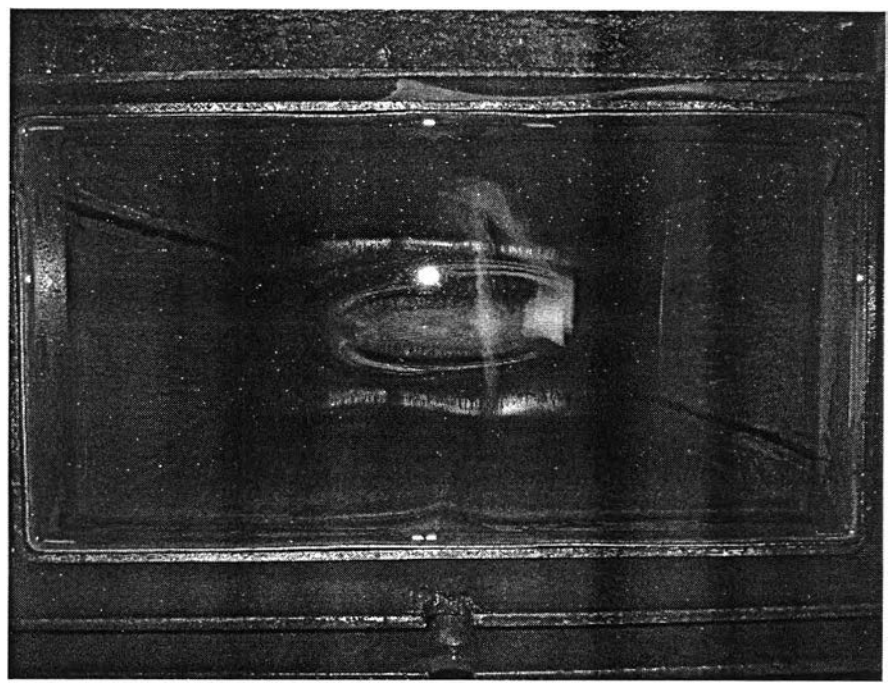
รูปที่ 6.2 (ก) แสดงภาพถ่ายของน้ำแข็งจากกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองในโรงงาน ในกรณี ที่ไม่มีการจ่ายอากาศลงซองน้ำแข็ง



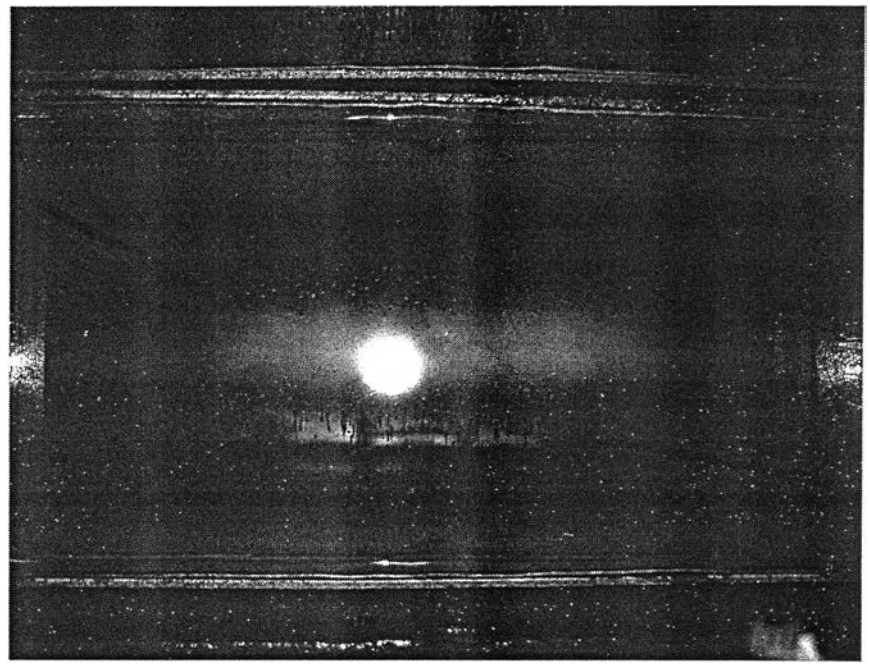
รูปที่ 6.2 (ข) แสดงภาพถ่ายของน้ำแข็งจากกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองในโรงงาน ที่อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองที่อัตรา 10.81 ลิตรต่อนาที



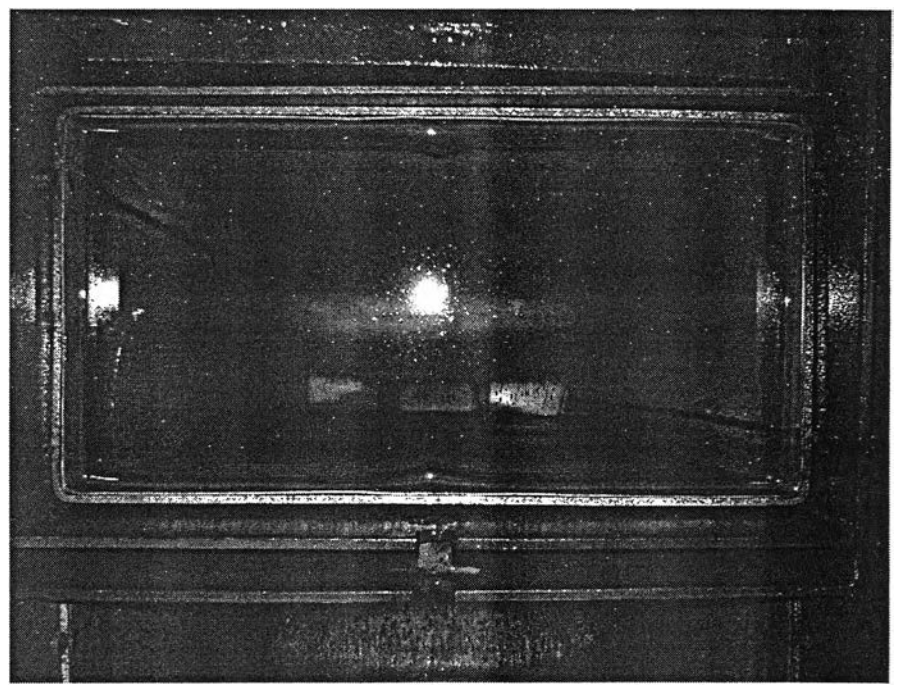
รูปที่ 6.2 (ค) แสดงภาพถ่ายของน้ำแข็งจากกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองในโรงงาน ที่อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองที่อัตรา 13.95 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 6.2 (ง) แสดงภาพถ่ายของน้ำแข็งจากกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองในโรงงาน ที่อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองที่อัตรา 15.72 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 6.2 (จ) แสดงภาพถ่ายของน้ำแข็งจากกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองในโรงงาน ที่อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองที่อัตรา 18.23 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 6.2 (ฉ) แสดงภาพถ่ายของน้ำแข็งจากกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองในโรงงาน **ที่อัตราการไหล**ของอากาศที่จ่ายลงในซองที่อัตรา 19.46 ลิตรต่อนาที

ผลสรุปของแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง และผลสรุปของการวัดข้อมูลในโรงงานผลิตน้ำแข็งซอง โดยจะนำมาเปรียบเทียบค่าตัวแปรต่างๆที่ทำการเก็บข้อมูล สรุปเป็นหัวข้อได้ ดังนี้

1. การเปรียบเทียบอุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือจากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองและจากการวัดค่าในโรงงานผลิตน้ำแข็ง พบว่าอุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือจากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองมีช่วงของอุณหภูมิที่แคบ ส่วนอุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือจากการวัดในโรงงานน้ำแข็ง มีช่วงของอุณหภูมิที่กว้างกว่า ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือ คือ -9.67 และ -8 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยสาเหตุที่ค่าอุณหภูมิบ่อน้ำเกลือในโรงงานมีช่วงที่กว้าง เนื่องจากไม่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ควบคุมอุณหภูมิแม่นยำ เหมือนเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองและน้ำเกลือในบ่อมีการไหลเวียนกันไม่ทั่วถึง

2. การเปรียบเทียบอิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศลงในซองน้ำแข็งที่มีต่อความขุ่นจากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองและกระบวนการผลิตในโรงงานผลิตน้ำแข็ง พบว่าแนวโน้มของการเกิดความใสของน้ำแข็งซองที่ได้จากแบบจำลองเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มของอัตราการจ่ายอากาศลงในซองน้ำแข็ง เปรียบเทียบกับแนวโน้มการเกิดความใสของน้ำแข็งซองที่ผลิตได้จากโรงงาน จากการสร้างแบบจำลองและเก็บผลที่ได้จากแบบจำลองจึงสามารถยืนยันอิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศลงในซองน้ำแข็งที่มีต่อความขุ่นได้

3. การเปรียบเทียบอิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศลงในซองน้ำแข็งที่มีต่ออัตราการเพิ่มของความหนาของน้ำแข็งและเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งจากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองและกระบวนการผลิตในโรงงานผลิตน้ำแข็ง พบว่าอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองน้ำแข็งจากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งมีผลต่ออัตราการเพิ่มของความหนาของน้ำแข็งและเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งเพียงเล็กน้อย เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดในโรงงานผลิตน้ำแข็งพบว่าอัตราการจ่ายอากาศมีผลต่ออัตราการเพิ่มของความหนาของน้ำแข็งและเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งเพียงเล็กน้อย จากการสร้างแบบจำลองและเก็บผลที่ได้จากแบบจำลองจึงสามารถอ้างอิงผลของ อิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศลงในซองน้ำแข็งที่มีต่ออัตราการเพิ่มของความหนาของน้ำแข็งและเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งได้

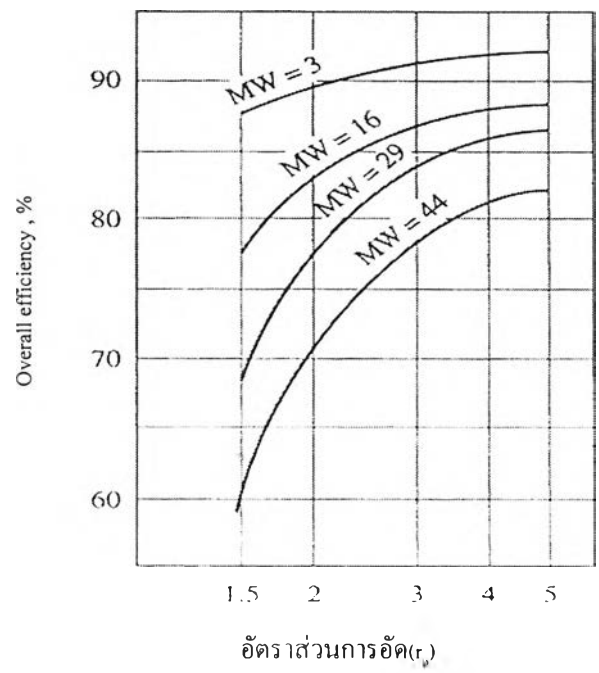
6.2 การวิเคราะห์การประหยัดพลังงานสำหรับการจ่ายอากาศ

การวิเคราะห์การประหยัดพลังงานสำหรับการจ่ายอากาศ ในระบบจ่ายอากาศของโรงงานผลิตน้ำแข็งที่เข้าไปทำการศึกษาวิจัย ซึ่งได้ทำการวัดข้อมูลของอัตราการไหลเฉลี่ย(ลิตร-ต่อนาที ต่อซอง) และ พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศ (วัตต์) จากการนำเครื่องวัดไฟฟ้าไปคล้อง ซึ่งเครื่องอัดอากาศของโรงงานที่เข้าไปทำการวัดไม่มีเกจวัดความดันที่ท่อส่ง การคำนวณเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบการประหยัดพลังงานในการลดอัตราการจ่ายอากาศของเครื่องอัดลง จึงเริ่มจากการหาความดันด้านส่งของเครื่องอัดไอจากอัตราส่วนการอัดในกรณีที่จ่ายอากาศด้วยอัตราเฉลี่ยต่อซอง ในกระบวนการผลิตทั่วไปของโรงงานน้ำแข็ง คือ 16.98 ลิตรต่อนาทีต่อซอง

พิจารณากำลังทางทฤษฎี (Theoretical Power) ของเครื่องอัดอากาศ จากกฎของอุณหพลศาสตร์สำหรับการอัดแบบ isentropic ได้กำลังที่ใช้ ดังนี้

$$\text{power(overall efficiency)} = \frac{p_1 \dot{V}_1}{(\gamma - 1)/\gamma}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1\right] \qquad (6.1)$$

ซึ่งค่า overall efficiency สามารถทำการ trial and error จากรูปที่ 6.3 โดยสมมติให้ค่า overall efficiency เท่ากับ 75 % ในการอัดอากาศมีค่า molecular weight เท่ากับ 29 จะได้ค่าอัตราส่วนการอัด ประมาณ 1.8



สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 6.3 แสดงประสิทธิภาพการอัดอากาศแบบ isentropic

$$1.4(.75) = \frac{(101.325)(0.016)}{(1.4-1)/(1.4)}\left[(r_p)^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1\right]$$

$$r_p = \left[\frac{(1.4-1)(1.4)(0.75)}{(1.4)(101.325)(0.016)}\right]^{\frac{1.4}{0.4}}$$

$$r_p = [1.18]^{\frac{1.4}{0.4}}$$

$$r_p = 1.82$$

โดยความดันด้านดูด P_s เท่ากับความดันบรรยากาศ

$$\frac{p_d}{p_s} = \frac{p_d}{p_{atm}} = 1.82$$

$$p_d = 184.4 \quad \text{kPa}$$

จากการคำนวณได้ค่าอัตราส่วนการอัดสอดคล้องกับการ trial and error ค่าอัตราส่วนของการอัด มีค่าประมาณ 1.82 จากการพิจารณาจากสูตรกำลังการอัดทางทฤษฎี พบว่าเทอมที่มีผลต่อกำลังที่ใช้ในการอัดมาก คือ อัตราการไหล เพื่อความสะดวกในการคำนวณทางทฤษฎี จึงสมมติให้อัตราส่วนการอัดของเครื่องอัดอากาศคงที่ และคำนวณค่ากำลังการอัดหากลดอัตราการจ่ายอากาศลงที่ 13.95 ลิตรต่อนาทีต่อซอง จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{power(overall efficiency)} = \frac{p_1 \dot{V}_1}{(\gamma-1)/\gamma}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1\right]$$

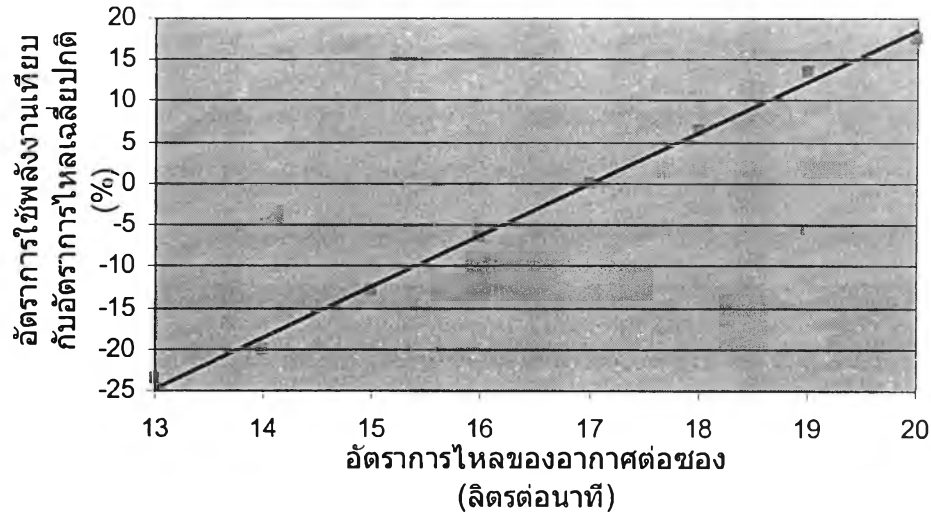
$$\text{power}(0.75) = \frac{(101.325)(0.012)}{(1.4-1)/(1.4)}\left[(1.82)^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1\right]$$

$$\text{power}(0.75) = 0.844 \quad \text{kW}$$

$$\text{power} = 1.125 \quad \text{kW}$$

กำลังที่คำนวณได้ คือ กำลังทางทฤษฎีที่เครื่องอัดอากาศต้องการในการขับระบบจ่ายอากาศในกรณีที่จ่ายอากาศลงสู่ซองด้วยอัตราการจ่ายอากาศเฉลี่ยต่อซอง 13.95 ลิตรต่อนาที เป็นอัตราที่น้อยที่สุดที่ป้องกันไม่ให้เกิดความขุ่นของน้ำแข็ง

เมื่อเปรียบเทียบกรณีอัตราการจ่ายอากาศเฉลี่ย 13.95 ลิตรต่อนาทีด้วยทฤษฎีการอัดแบบไอเซนทรอปิคเทียบกับที่อัตราการจ่ายเฉลี่ยในช่วงที่พบในโรงงานน้ำแข็ง คือ 16.98 ลิตรต่อนาทีจะสามารถประหยัดพลังงานที่ใช้ในการอัดได้ประมาณ 20% หากลดอัตราการจ่ายลง โดยอัตราการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในแต่ละกรณีเทียบกับอัตราการจ่ายเฉลี่ยปกติที่พบในโรงงานน้ำแข็ง ดังที่แสดงในรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 อัตราการใช้พลังงานในการอัดอากาศทางทฤษฎีเทียบกับอัตราการไหลเฉลี่ยปกติ

ส่วนกำลังที่ป้ายประจำเครื่อง(nameplate) ของมอเตอร์ พบว่าป้ายประจำเครื่องระบุแรงม้าของมอเตอร์ไว้ที่ 3 แรงม้า หรือ 2238 วัตต์ เมื่อเทียบค่ากำลังจากการวัดไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่เครื่อง คือ 1400 วัตต์ ที่ภาระการดำเนินการปกติของโรงงาน พบว่า การใช้กำลังของเครื่องอัดอากาศสามารถลดลง เมื่อลดอัตราการจ่ายอากาศลงเหลือที่อัตราการจ่าย 13.95 ลิตรต่อนาทีต่อซอง จะลดการใช้พลังงานลงได้ประมาณ 20 % พบว่า Load factor ของเครื่องอัดอากาศจะลดลงเมื่อลดภาระลง ซึ่งจะเป็นข้อพิจารณาในการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศใหม่ให้มีขนาดเล็กลงกว่าเดิม เพราะการลดอัตราการจ่ายอากาศลงจากเท่าที่จ่ายในกรณีปกติ