

รายการอ้างอิง

- [1] R. Prapainop and K. Maneeratana. Simulation of Ice Formation by Finite Volume Method. *Songklanakarin J. of Sci. and Tech.*. 26. 1. (2004): 55–70.
- [2] K. Maneeratana. Simulation of Ice Formation by the Unstructured Finite Volume Method. in *Proc. 1st E-NETT Conf.*. (2005): 1–6.
- [3] Siam Scholars Co. Ltd.. MATLAB Program for Online Estimation of Block-Ice Process. April 2005.
- [4] Y. A. Çengel and M. A. Boles. *Thermodynamics*. New York: McGraw-Hill. 1989.
- [5] Siam Scholoars Co. Ltd.. *Data of Block-Ice Production and Electricity Cost of a Sample Factory*. Samutsakorn. 2004.
- [6] T. Lertpiya. Energy Management System for Block-Ice Factory Using TOD and TOU Tariff. Master's thesis. Department of Electrical Engineering, Chulalongkorn University. 2006.
- [7] T. Söderström and P. Stoica. *System Identification*. New York: Prentice Hall. 1989.
- [8] M. Morf and T. Kailath. Square-Root Algorithm for Least-Squares Estimation. *IEEE Trans. Aut. Control*. AC-20. 4. (1975): 487–497.
- [9] A. Sjö. *Updating Techniques in Recursive Least-Squares Estimation. Algorithms Using Rank-1 Modification of Covariance Matrix Factorization*. Department of Computer Science, Lund. 1992.
- [10] J. Sjöberg, Q. Zhang, L. Ljung, A. Benveniste, B. Delyon, P.-Y. Glorennec, H. Hjalmarsson, and A. Juditsky. Nonlinear Black-Box Modeling in System Identification: a Unified Overview. *Automatica*. 31. 12. (1995): 1691 - 1724.
- [11] M. Basso, L. Giarré, S. Groppi, and G. Zappa. NARX Models of an Industrial Power Plant Gas Turbine. *IEEE Trans. Control Sys. Tech.*. 13. 4. (2005): 599–604.
- [12] S. Boyd and L. Vandenberghe. *Convex Optimization*. United Kingdom: Canbridege University. 2004.
- [13] L. Piroddi and W. Spinelli. An Identification Algorithm for Polynomial NARX Models Based on Simulation Error Minimization. *Int. J. Control*. 76. 17. (2003): 1767-1781.
- [14] D. P. Bertsekas. *Dynamic Programming and Optimal Control*. Belmont, Massachusetts: Athena Scientific. 2005.

- [15] G. P. Henze. *Evaluation of Optimal Control for Ice Storage Systems*. PhD thesis. University of Colorado. 1995.
- [16] Wisconsin Center for Demand-Side Research. *The Commercial Cooling Load Library*. Madison, WI. 1994.
- [17] B. Jindarak. *Control System Design Using Dynamic Programming*. Senior Project. Department of Electrical Engineering, Chulalongkorn University. 2007.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งของ

ก.1 บทนำ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการสร้างแบบจำลองพลวัตของกระบวนการผลิตน้ำแข็งของ โดยใช้หลักการประมาณระยะเวลาการขึ้นรูปน้ำแข็งแต่ละช่อง ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์วอลุ่ม [1], [2] เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่น้ำแข็งถูกแช่อยู่ในบ่อ เพื่อขึ้นรูปน้ำแข็งกับค่าพลังงานความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจากน้ำหรือน้ำแข็งในช่องหนึ่ง ๆ ในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) (ซึ่งเป็นหน่วยเดียวกับหน่วยที่ใช้ในการระบุปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ขับเคลื่อนเพอร์สเซอร์) ที่อุณหภูมิน้ำเกลือ (อุณหภูมิบ่อ) ค่าต่าง ๆ กันไปในช่วงที่พิจารณา

ก.2 แบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งของด้วยวิธีไฟไนท์วอลุ่ม

ในขั้นต้นได้นำแบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งของของ รจนา ประไพพนพ [1] ซึ่งเป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเชิงเวลาของน้ำในช่อง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิของน้ำเกลือบริเวณรอบผิวสัมผัส (Boundary Condition) คงที่ค่าหนึ่ง ๆ แต่เนื่องจากแบบจำลองเป็นการจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งแบบ 2 มิติ โดยละเลยเงื่อนไขความสูงจำกัดของช่องน้ำแข็ง เมื่อนำมาใช้ประกอบเข้าเป็นแบบจำลองสถานะของบ่อโดยรวม เพื่อประมาณอุณหภูมิเฉลี่ยของบ่อและจำนวนของน้ำแข็งพร้อมขายในแต่ละชั่วโมงโดยใช้สมการอนุรักษ์พลังงานเฉลี่ยในระบบ พบว่าผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง

ต่อมาได้นำแบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งแบบ 3 มิติ [2] มาประยุกต์ใช้ในลักษณะเดียวกันแทน แบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งแบบ 2 มิติ กับแบบ 3 มิติ มีความแตกต่างกันโดยหลัก คือ แบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งแบบ 3 มิติ จะคิดผลของมิติความสูงที่จำกัดของน้ำแข็งด้วย ซึ่งผลที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำขึ้นการป้อนค่าลงในแบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งแบบ 3 มิติ จะต้องป้อนค่าที่สำคัญ คือ อุณหภูมิ บริเวณรอบผิวสัมผัสของน้ำหรือน้ำแข็ง ซึ่งแบ่งเป็นสามส่วนหลักคือ

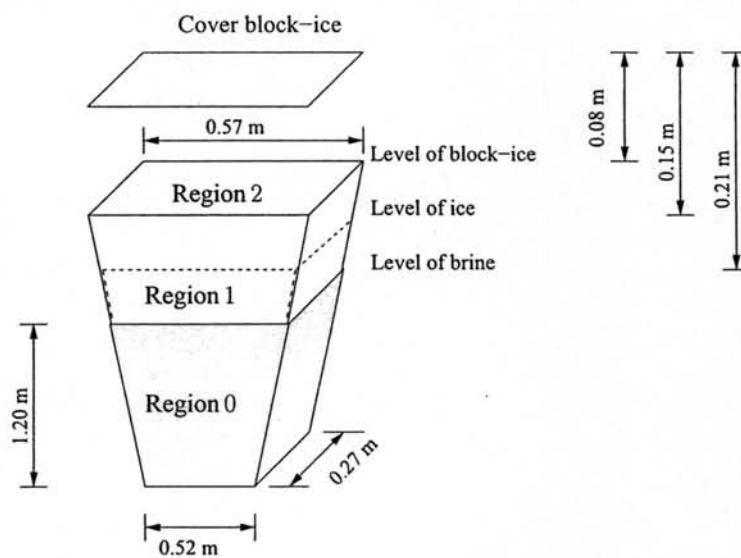
1. ขนาดของน้ำที่เติมลงในช่อง

- width top - half มีค่าเท่ากับ 0.285 เมตร
- width bottom - half มีค่าเท่ากับ 0.26 เมตร
- thickness - half มีค่าเท่ากับ 0.135 เมตร
- height มีค่าเท่ากับ 1.20 เมตร

โดยที่ width top - half และ width bottom - half คือ ครึ่งหนึ่งของความกว้างด้านบนและล่างของช่องน้ำแข็งตามลำดับ ส่วน thickness - half คือ ครึ่งหนึ่งของความหนาของช่องน้ำแข็ง และ height คือ ความสูงของระดับน้ำที่เติมลงในช่องบรรจุน้ำแข็ง (เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งจะมีขนาดความสูงในช่องสูงขึ้นจากเดิมประมาณ 20 เซนติเมตร)

2. อุณหภูมิน้ำดิบเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส
3. อุณหภูมิบริเวณผิวสัมผัสของน้ำหรือน้ำแข็งซึ่งมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
 - region 0 มีค่าเท่ากับ -12 องศาเซลเซียส
 - region 1 มีค่าเท่ากับ -12 องศาเซลเซียส
 - region 2 มีค่าเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส

โดยที่ region 0 คือ อุณหภูมิบริเวณผิวสัมผัสในส่วนที่ช่องน้ำแข็งสัมผัสกับน้ำเกลือโดยตรง region 1 คือ อุณหภูมิบริเวณผิวสัมผัสในส่วนที่ช่องน้ำแข็งไม่สัมผัสอยู่กับน้ำเกลือ และ region 2 คือ อุณหภูมิบริเวณผิวสัมผัสในส่วนบนที่น้ำแข็งสัมผัสกับอากาศ ดังแสดงในรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1: ขนาดของน้ำแข็งและระดับน้ำหรือน้ำแข็งในช่องเทียบกับระดับน้ำเกลือบริเวณภายนอก

ก.3 การสร้างตารางฐานข้อมูลการขึ้นรูปน้ำแข็งช่อง

เมื่อนำผลที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้าโดยใช้แบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งของแบบ 3 มิติ ข้างต้นมาสร้างเป็นตารางฐานข้อมูลการขึ้นรูปน้ำแข็ง ที่อุณหภูมิน้ำดิบเริ่มต้นคงที่ และแปรค่าอุณหภูมิของน้ำเกลือในช่วง -2 ถึง -12 องศาเซลเซียส ตารางฐานข้อมูลการขึ้นรูปน้ำแข็งดังกล่าวจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่น้ำแข็งถูกแช่อยู่ในบ่อ เพื่อขึ้นรูปกับค่าพลังงานความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจาก

น้ำหรือน้ำแข็งในช่องหนึ่ง ๆ ในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) (ซึ่งเป็นหน่วยเดียวกับหน่วยที่ใช้ในการระบุปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ขับเคลื่อนเพอร์สเซอร์) ที่อุณหภูมิน้ำเกลือ (อุณหภูมิบ่อ) ค่าต่าง ๆ กันไปในช่วงที่พิจารณา เนื่องจากเราใช้อุณหภูมิภายในบ่อเป็นค่าคงที่ในการสร้างตารางทำให้ตารางนี้สามารถใช้ได้เฉพาะในกรณีที่อุณหภูมิน้ำเกลือเป็นค่าคงที่เท่านั้น แต่ได้ประมาณการขึ้นรูปน้ำแข็งโดยประมาณว่า พลังงานถ่ายเทสะสมที่ประมาณได้ในชั่วโมงปัจจุบันเกิดจากการประมาณค่าพลังงานถ่ายเทสะสมที่ใกล้เคียงกับพลังงานถ่ายเทสะสมในชั่วโมงที่ผ่านมา ทั้งนี้จะถือว่าน้ำแข็งไม่ละลายจากการที่อุณหภูมิน้ำเกลือสูงขึ้น โดยตาราง ก.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลบางส่วนของตารางฐานข้อมูลการขึ้นรูปน้ำแข็งที่กล่าวถึงข้างต้น ซึ่งค่าในตารางแสดงถึงพลังงานความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจากน้ำแต่ละช่อง (kWh) ในช่วงอุณหภูมิของน้ำเกลือ -2°C ถึง -6.5°C โดยอุณหภูมิน้ำดิบเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 40°C

ตารางที่ ก.1: พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทออกจากน้ำแต่ละช่องขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและอุณหภูมิน้ำเกลือ

ชั่วโมงที่ (hr)	อุณหภูมิน้ำเกลือ ($^{\circ}\text{C}$)									
	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5
1	2.345	2.376	2.407	2.440	2.473	2.507	2.543	2.580	2.619	2.660
2	3.253	3.309	3.371	3.437	3.496	3.561	3.632	3.716	3.819	3.937
3	3.926	4.011	4.096	4.195	4.311	4.446	4.594	4.770	4.968	5.174
4	4.477	4.592	4.733	4.886	5.068	5.295	5.540	5.823	6.118	6.436
5	4.957	5.132	5.311	5.546	5.819	6.143	6.483	6.858	7.270	7.648
6	5.407	5.616	5.880	6.197	6.565	6.967	7.417	7.883	8.196	8.450
7	5.820	6.094	6.435	6.839	7.291	7.800	8.291	8.619	8.910	9.220
8	6.208	6.554	6.983	7.469	8.019	8.562	8.935	9.270	9.612	9.976
9	6.593	7.021	7.519	8.101	8.694	9.151	9.524	9.904	10.32	10.73
10	6.961	7.466	8.057	8.693	9.273	9.682	10.10	10.55	11.0	11.46

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวุฒินันท์ ฐูปหอม เป็นบุตรของนายสมิตรและนางสุดใจ ฐูปหอม สำเร็จการศึกษาระดับปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ ภาค
วิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบ
คุมในปีการศึกษา 2547