

บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- [1] สุภัทร หนูสวัสดิ์, พิมล วุฒิสินธ์, นิทัศน์ ตั้งพินิจกุล, ยงยุทธ คงชาน, สิริชัย ส่งเสริมพงษ์, วิบูลย์ เทเพนทร์ และ ไมตรี แนวพานิช. (2537). วิจัยและพัฒนาถังโลหะเก็บรักษาข้าวเปลือก. ใน **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมเกษตร** (หน้า 155–170). นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- [2] สมชาติ ไสภณรณฤทธิ์, ทิพาพร อยู่วิทยา และ อรรถพร อภิพัฒนานุกุล. (2539). การชะลอความเสียหายของกองข้าวเปลือกขึ้นโดยการระบายอากาศ. **วิทยาศาสตร์ (สาขาวิทยาศาสตร์)**, 30(3), 351–363.
- [3] นราธิป สุขโข, บุญฤกษ์ ตันติบุญยืน, สุรพงษ์ พงศ์สุธนะ และ อัมรินทร์ ธนาสารพูนผล. (2539). **การทดลองการถ่ายโอนความร้อนภายในไซโลเก็บข้าวเปลือก**, กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [4] A. Apivathananukul, S. Soponronnarit, T. Ouvithaya and A. Nathakaranakule. (1996). Delay of Deterioration of Wet Paddy by Ventilation. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)**, 30, 351–363.
- [5] ศรีสุมท วิโชคชาญชัย. (2540). การศึกษาแนวทางชะลอการเสื่อมคุณภาพข้าวเปลือกความชื้นสูงโดยการฝังท่อระบายความร้อนออกจากกองข้าว. ใน **บทความวิจัยนิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิตปีการศึกษา 2540** (หน้า 143). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [6] นิภาพร ไชยมงคล, ธงชัย ยันตรศรี และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2546). **การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในไซโลข้าวเปลือกโดยใช้การเป่าลมเย็น**. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [7] A. Iguaz, M. B. San Martin, C. Arroqui, T. Fernandez, J. I. Mate and P. Virseda. (2003). Thermophysical properties of medium grain rough rice (LIDO cultivar) at medium and low temperatures. **European Food Research and Technology**, 217(3), 224–229.
- [8] T. Kiatsiriroat and N. Dussadee. (2001). Reduction of heat accumulated in a thermosyphon paddy bulk storage. **International Journal of Ambient Energy**, 22(1), 12–18.

- [9] Nathawuth Dussadee and Tanongkiat Kiatsiriroat. (2004). Performance analysis and economic evaluation of thermosyphon paddy bulk storage. **Applied Thermal Engineering**, 24, 401–414.
- [10] Natthawud Dussadee, Tammasak Punsasensri and Tanongkiat Kiatsiriroat. (2007). Temperature control of paddy bulk storage with aeration-thermosyphon heat pipe. **Energy Conversion and Management**, 48, 138–145.
- [11] Mohammad Izadifar, Oon-Doo Baik and Carey J. Simonson. (2006). Modeling of the packed bed drying of paddy rice using the local volume averaging (LVA) approach. **Food research international**, 39(6), 712–720.
- [12] Akachi, H., Polášek, F. and Štulc, P. (1996). Pulsating heat pipes. In **Proceedings of the 5th International Heat Pipe Symposium**. (pp. 208–217). Australia: Melbourne.
- [13] Dunn, P. and Reay, D.A. (1982). **Heat pipe** (3th ed.). UK: Pergamon Press Ltd.
- [14] Maezawa, S., Gi, K., Minamisawa, A. and Akachi, H. (1995). Thermal performance of capillary tube thermosyphon. In **Proceeding of the 9th International Heat Pipe Conference**. (pp. 791–795). New Mexico: Albuquerque.
- [15] รูปแบบของการเก็บรักษาข้าวเปลือกชนิดต่างๆ. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2553, จาก http://www.ricethailand.go.th/rkb/data_007/rice_xx2-07_gatherNew_004.html
- [16] **Heat pipes**. (n.d.). Retrived August 18, 2011, from <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Heat+pipe/>
- [17] **Oscillating heat pipes**. (n.d.). Retrieved August 18, 2011, from http://electronics-cooling.com/articles/2003/2003_may_a4.php/
- [18] Gi, K., Sato, F. and Maezawa, S. (1999). Flow Visualization Experiment on Oscillating Heat Pipe. In **Proceedings of the 11th International Heat Pipe Conference**. (pp. 149–153). Japan: Tokyo.
- [19] Yang, H., Khandekar, S. and Groll M. (2008). Operational limit of closed loop pulsating heat pipes. **Elsevier Science**, 28, 49–59.

- [20] Charoensawan P., Khandekar S., Groll M. and P. Terdtoon. (2003). Closed loop pulsating heat pipes–Part A: Parametric experimental investigations, **Applied Thermal Engineering**, 23, 2009–2020.
- [21] A. Iguaz, C. Arroqui, A. Esnoz and P. Virseda. (2004). Modelling and Validation of Heat Transfer in Stored Rough Rice without Aeration. **Bio systems Engineering**, 88 (4), 429–439.
- [22] Qu W. and Ma H.B. (2007). Theoretical analysis of startup of a pulsating heat pipe. **Elsevier Science**, 50, 2309–2316.
- [23] Tong B.Y., Wong T.N. and Ooi K.T. (2001). Closed-loop pulsating heat pipe. **Elsevier Science**, 21, 1845–1862.
- [24] P.A. Seib, H.B. Pfost, A. Sukaboi, V.S. Rao and R.B. Burroughs. (1980). Spoilage of rough rice as measured by carbon dioxide evolution. In **Proceedings of 3rd ASEAN Seminar on Grain Post-harvest Technology**. (pp. 75–94). Philippines: Kuala Lumpur.
- [25] สุวรรณ วาววาว, ดนัย หมั่นทรัพย์, ประชา ยืนยงกุล, ชัยณรงค์ พรหมศรี และ ประดิษฐ์ เทอดทูล. (2547). การประยุกต์ใช้งานของท่อความร้อนแบบสั่นแบบวงรอบในการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ท. ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรม เครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18**. ขอนแก่น: โรงแรมโซฟิเทล ราชาออร์คิด.
- [26] เรืองฤทธิ์ ลำมะยศ, ชาญณรงค์ พาประโยชน์, สมใจ เชาว์พานิช และ ประยุทธ์ ทะสุนทร. (ม.ป.ป.). **การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศโดยการติดตั้งท่อความร้อนช่วยระบายความร้อนที่แผ่กระจายความร้อน**. มหาสารคาม: วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม.
- [27] Charoensawan P. and Terdtoon P. (2007). Thermal performance Correlation of horizontal closed-loop oscillating heat pipe. In **Proceedings of the 9th Electronics Packaging Technology Conference**. (pp. 906–909). Singapore: Grand Copthorne Waterfront Hotel.
- [28] Charoensawan P. and Terdtoon P. (2008). Thermal performance of horizontal closed-loop oscillating heat pipe. **Applied Thermal Engineering**, 28, 460–466

- [29] มนตรี พิรุณเกษตร. (2542). **อุณหพลศาสตร์ 2**. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์.
- [30] วิบูลย์ เทพนนท์. (2543). เครื่องลดความชื้นและหลักการทำงาน. **ข่าวสารกองเกษตรวิศวกรรม**, 11(2), 91–97.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แสดงสมบัติของ R134a

ตาราง 4 แสดงสมบัติของ R134a ที่สถานะของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัว [33]

T	P	ρ	ν	Enthalpy		Entropy		c_p	
°C	MPa	kg/m ³	m ³ /kg	kJ/kg		kJ/(kg·K)		kJ/(kg·K)	
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
-103.3	0.00039	1591.2	35.263	71.89	335.07	0.4143	1.9638	1.147	0.585
-100	0.00056	1581.9	25.039	75.71	337.00	0.4366	1.9456	1.168	0.592
-90	0.00153	1553.9	9.7191	87.59	342.94	0.5032	1.8975	1.201	0.614
-80	0.00369	1526.2	4.2504	99.65	349.03	0.5674	1.8585	1.211	0.367
-70	0.00801	1498.6	2.0528	111.78	355.23	0.6286	1.8269	1.215	0.660
-60	0.01594	1471.0	1.077	123.96	361.51	0.6871	1.8016	1.220	0.685
-50	0.02948	1443.1	0.6056	136.21	367.83	0.7432	1.7812	1.229	0.712
-40	0.05122	1414.8	0.36095	148.57	374.16	0.7973	1.7649	1.243	0.740
-30	0.08436	1385.9	0.22596	161.10	380.45	0.8498	1.7519	1.26	0.771
-28	0.09268	1380.0	0.20682	163.62	381.70	0.8601	1.7497	1.264	0.778
-26.07	0.10132	1374.3	0.19016	166.07	382.90	0.8701	1.7476	1.268	0.784
-26	0.10164	1374.1	0.18961	166.16	382.94	0.8704	1.7476	1.268	0.785
-24	0.11127	1368.2	0.17410	168.70	384.19	0.8806	1.7455	1.273	0.791
-22	0.12160	1362.2	0.1601	171.26	385.43	0.8908	1.7436	1.277	0.798
-20	0.13268	1356.2	0.14744	173.82	386.66	0.9009	1.7417	1.282	0.805
-18	0.14454	1350.2	0.13597	176.39	387.89	0.9110	1.7399	1.286	0.812
-16	0.15721	1344.1	0.12556	178.97	389.11	0.9211	1.7383	1.291	0.820
-14	0.17074	1338.0	0.11610	181.56	390.33	0.9311	1.7367	1.296	0.827
-12	0.18516	1331.8	0.10749	184.16	391.55	0.9410	1.7351	1.301	0.835
-10	0.20052	1325.6	0.09963	186.78	392.75	0.9509	1.7337	1.306	0.842
-8	0.21984	1319.3	0.09246	189.40	393.95	0.9608	1.7323	1.312	0.850
-6	0.23418	1313.0	0.08591	192.03	395.15	0.9707	1.7310	1.317	0.858
-4	0.25257	1306.6	0.07991	194.68	396.33	0.9805	1.7297	1.323	0.866
-2	0.27206	1300.2	0.0744	197.33	397.51	0.9903	1.7285	1.329	0.875
0	0.29269	1293.7	0.06935	200.00	398.68	1.0000	1.7274	1.335	0.883
2	0.31450	1287.1	0.06470	202.68	399.84	1.0097	1.7263	1.341	0.892

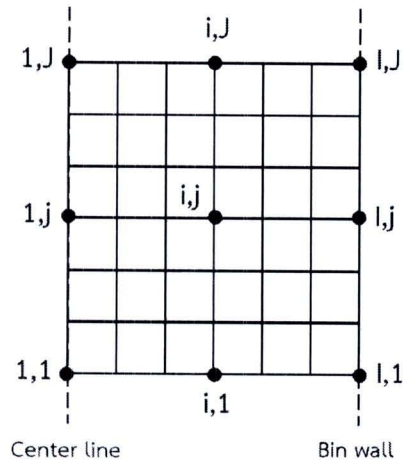
ตาราง 4 (ต่อ)

T	P	ρ	v	Enthalpy		Entropy		c_p	
°C	MPa	kg/m ³	m ³ /kg	kJ/kg		kJ/(kg·K)		kJ/(kg·K)	
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
4	0.33755	1280.5	0.06042	205.37	401.00	1.0194	1.7252	1.347	0.901
6	0.36186	1273.8	0.05648	208.08	402.14	1.0291	1.7242	1.353	0.910
8	0.38749	1267.0	0.05284	210.80	403.27	1.0387	1.7233	1.360	0.920
10	0.41449	1260.2	0.04948	213.53	404.40	1.0483	1.7224	1.367	0.930
12	0.44289	1253.3	0.04636	216.27	405.51	1.0579	1.7215	1.374	0.939
14	0.47276	1246.3	0.04348	219.03	406.61	1.0674	1.7207	1.381	0.950
16	0.50413	1239.3	0.04081	221.80	407.70	1.0770	1.7199	1.388	0.960
18	0.53706	1232.1	0.03833	224.59	408.78	1.0865	1.7191	1.396	0.971
20	0.57159	1224.9	0.03603	227.40	409.84	1.0960	1.7183	1.404	0.982
22	0.60777	1217.5	0.03388	230.21	410.89	1.1055	1.7176	1.412	0.994
24	0.64566	1210.1	0.03189	233.05	411.93	1.1149	1.7169	1.420	1.006
26	0.68531	1201.6	0.03003	235.9	412.95	1.1244	1.7162	1.429	1.018
28	0.72676	1194.9	0.02829	238.77	413.95	1.1338	1.7155	1.438	1.031
30	0.77008	1187.2	0.02667	241.65	414.94	1.1432	1.7149	1.447	1.044
32	0.81530	1179.3	0.02516	244.55	415.90	1.1527	1.7142	1.457	1.058
34	0.86250	1171.3	0.02374	247.47	416.85	1.1621	1.7135	1.467	1.073
36	0.91172	1163.2	0.02241	250.41	417.78	1.1715	1.7129	1.478	1.088
38	0.96301	1154.9	0.02116	253.37	418.69	1.1809	1.7122	1.489	1.104
40	1.01650	1146.5	0.01999	256.35	419.58	1.1903	1.7115	1.500	1.120
42	1.07210	1137.9	0.01890	259.35	420.44	1.1997	1.7108	1.513	1.138
44	1.13000	1129.2	0.01786	262.38	421.28	1.2091	1.7101	1.525	1.156
46	1.19010	1120.3	0.01689	265.42	422.09	1.2185	1.7094	1.539	1.175
48	1.25270	1111.3	0.01598	268.49	422.88	1.2279	1.7086	1.553	1.196
50	1.31770	1102.0	0.01511	271.59	423.63	1.2373	1.7078	1.569	1.218
52	1.38520	1092.6	0.01430	274.71	424.35	1.2468	1.7070	1.585	1.241
58	1.60330	1062.8	0.01212	284.25	426.29	1.2752	1.7041	1.641	1.322
60	1.68150	1052.4	0.01146	287.49	426.86	1.2847	1.7031	1.663	1.354
62	1.76250	1041.7	0.01085	290.77	427.37	1.2943	1.7019	1.686	1.388

ตาราง 4 (ต่อ)

T	P	ρ	v	Enthalpy		Entropy		c_p	
°C	MPa	kg/m ³	m ³ /kg	kJ/kg		kJ/(kg·K)		kJ/(kg·K)	
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
64	1.84640	1030.7	0.01026	294.08	427.84	1.3039	1.7007	1.712	1.426
66	1.93340	1019.4	0.00970	297.44	428.25	1.3136	1.6993	1.740	1.468
68	2.02340	1007.7	0.00917	300.84	428.61	1.3234	1.6979	1.772	1.515
70	2.11650	995.6	0.00867	304.29	428.89	1.3332	1.6963	1.806	1.567
72	2.21300	983.1	0.00818	307.79	429.10	1.3430	1.6945	1.846	1.626
74	2.31270	970.0	0.00772	311.34	429.23	1.353	1.6926	1.89	1.693
76	2.41590	956.5	0.00728	314.96	429.27	1.3631	1.6905	1.941	1.770
78	2.52270	942.3	0.00686	318.65	429.20	1.3733	1.6881	2.000	1.861
80	2.63310	927.4	0.00646	322.41	429.02	1.3837	1.6855	2.069	1.967
85	2.92590	886.2	0.00550	332.27	427.91	1.4105	1.6775	2.313	2.348
90	3.24450	836.9	0.00461	343.01	425.48	1.4392	1.6663	2.766	3.064
95	3.59160	771.6	0.00374	355.43	420.60	1.4720	1.649	3.961	4.942
100	3.97210	646.7	0.00265	374.02	407.08	1.5207	1.6093	-	-
101.03	4.05600	513.3	0.00195	389.79	389.79	1.5593	1.5593	∞	∞

ภาคผนวก ข สมการที่ใช้ของการคำนวณอุณหภูมิของข้าวเปลือกในแต่ละตำแหน่ง



ภาพ 68 ตำแหน่งพิกัดของอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ใช้ในการอ้างอิงสมการ

สำหรับอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง (1,1) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ ข.1

$$T_{i,j}^{t+1} = T_{i,j}' + \frac{\Delta t}{\rho c_p V} \left\{ \begin{aligned} & k_{eff} \left[\left(\pi \left(i \frac{\Delta r}{2} \right)^2 \right) \left(\frac{T_{i,j+1}' - T_{i,j}'}{\Delta z} \right) + \left(2\pi i \frac{\Delta r}{2} \frac{\Delta z}{2} \right) \left(\frac{T_{i+1,j}' - T_{i,j}'}{\Delta r} \right) \right] \\ & - \left[h_b \left(\pi \left(i \frac{\Delta r}{2} \right)^2 \right) (T_{i,j}' - T_a) \right] + Q_{Paddy} - Q_{CLOHP} \end{aligned} \right\} \quad (ข.1)$$

เช่นเดียวกันของอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง (i,1) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ ข.2



$$T_{i,j}^{t+1} = T_{i,j}^t + \frac{\Delta t}{\rho c_p V} \left\{ \begin{aligned} & k_{eff} \left[\left(\pi \left[\left((i-1) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right]^2 - \left[\left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right]^2 \right) \left(\frac{T_{i,j+1}^t - T_{i,j}^t}{\Delta z} \right) \right. \\ & \quad + \left(2\pi \frac{\Delta z}{2} \left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right) \left(\frac{T_{i-1,j}^t - T_{i,j}^t}{\Delta r} \right) \\ & \quad + \left(2\pi \frac{\Delta z}{2} \left((i-1) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right) \left(\frac{T_{i+1,j}^t - T_{i,j}^t}{\Delta r} \right) \\ & \quad \left. - \left[h_b \left(\pi \left[\left((i-1) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right]^2 - \left[\left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right]^2 \right) \right] (T_{i,j}^t - T_a) \right] \\ & \quad + Q_{Paddy} - Q_{CLOHP} \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

อุณหภูมิข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง (1,1) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1.3

$$T_{1,j}^{t+1} = T_{1,j}^t + \frac{\Delta t}{\rho c_p V} \left\{ \begin{aligned} & k_{eff} \left[\left(\pi \left[(i-1) \Delta r \right]^2 - \left[\left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right]^2 \right) \left(\frac{T_{1,j+1}^t - T_{1,j}^t}{\Delta z} \right) \right. \\ & \quad + \left(2\pi \frac{\Delta z}{2} \left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right) \left(\frac{T_{i-1,j}^t - T_{1,j}^t}{\Delta r} \right) \\ & \quad \left. - \left[h_b \left(\pi \left[(i-1) \Delta r \right]^2 - \left[\left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right]^2 \right) \right] (T_{1,j}^t - T_a) \right] \\ & \quad - h_s \left(2\pi \frac{\Delta z}{2} (i-1) \Delta r \right) (T_{1,j}^t - T_a) \\ & \quad + Q_{Paddy} - Q_{CLOHP} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

อุณหภูมิข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง (1,j) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1.4

$$T_{1,j}^{t+1} = T_{1,j}^t + \frac{\Delta t}{\rho c_p V} \left\{ \begin{aligned} & k_{eff} \left[\left(\pi \left(i \frac{\Delta r}{2} \right)^2 \right) \left(\frac{T_{1,j+1}^t - 2T_{1,j}^t + T_{1,j-1}^t}{\Delta z} \right) \right. \\ & \quad + \left(2\pi i \frac{\Delta r}{2} \Delta z \right) \left(\frac{T_{i+1,j}^t - T_{1,j}^t}{\Delta r} \right) \\ & \quad \left. + Q_{Paddy} - Q_{CLOHP} \right] \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

อุณหภูมิข้างเปลือกที่ตำแหน่ง (I,j) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ ข.5

$$T_{i,j}^{t+1} = T_{i,j}^t + \frac{\Delta t}{\rho c_p V} \left\{ k_{eff} \left[\left(\left(\left(\pi \left[(i-1)\Delta r \right]^2 - \left[\left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right]^2 \right) \right) \right) \left(\frac{T_{i,j+1}^t - 2T_{i,j}^t + T_{i,j-1}^t}{\Delta z} \right) \right] \right. \\ \left. + \left(2\pi \left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \Delta z \right) \left(\frac{T_{i-1,j}^t - T_{i,j}^t}{\Delta r} \right) \right. \\ \left. - \left[h_s \left((2\pi (i-1) \Delta r \Delta z) \right) (T_{i,j}^t - T_a) \right] + Q_{paddy} - Q_{CLOHP} \right] \right\} \quad (ข.5)$$

อุณหภูมิข้างเปลือกที่ตำแหน่ง (1,J) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ ข.6

$$T_{1,j}^{t+1} = T_{1,j}^t + \frac{\Delta t}{\rho c_p V} \left\{ k_{eff} \left[\left(\pi \left[(i-1)\Delta r \right]^2 \right) \left(\frac{T_{i,j-1}^t - T_{i,j}^t}{\Delta z} \right) \right] \right. \\ \left. + \left(2\pi i \frac{\Delta r}{2} \frac{\Delta z}{2} \right) \left(\frac{T_{i+1,j}^t - T_{i,j}^t}{\Delta r} \right) \right] \\ \left. - \left[h_i \left(\pi \left[(i-1)\Delta r \right]^2 \right) (T_{i,j}^t - T_a) \right] + Q_{paddy} - Q_{CLOHP} \right] \right\} \quad (ข.6)$$

อุณหภูมิข้างเปลือกที่ตำแหน่ง (i,J) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ ข.7

$$T_{i,J}^{t+1} = T_{i,J}^t + \frac{\Delta t}{\rho c_p V} \left\{ k_{eff} \left[\left(\left(\left(\pi \left[(i-1)\Delta r \right]^2 - \left[\left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right]^2 \right) \right) \right) \left(\frac{T_{i,j-1}^t - T_{i,j}^t}{\Delta z} \right) \right] \right. \\ \left. + \left(2\pi \left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \frac{\Delta z}{2} \right) \left(\frac{T_{i-1,j}^t - T_{i,j}^t}{\Delta r} \right) \right. \\ \left. + \left(2\pi \left((i-1) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \frac{\Delta z}{2} \right) \left(\frac{T_{i+1,j}^t - T_{i,j}^t}{\Delta r} \right) \right] \\ \left. - \left[h_i \left(\pi \left[(i-1)\Delta r \right]^2 - \left[\left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right]^2 \right) (T_{i,j}^t - T_a) \right] + Q_{paddy} - Q_{CLOHP} \right] \right\} \quad (ข.7)$$

และอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง (i,j) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ ๗.8

$$T_{i,j}'^{+1} = T_{i,j}' + \frac{\Delta t}{\rho c_p V} \left\{ \begin{aligned} & k_{eff} \left[\left(\pi \left[(i-1) \Delta r \right]^2 - \left[\left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right]^2 \right) \left(\frac{T_{i,j-1}' - T_{i,j}'}{\Delta z} \right) \right] \\ & + \left(2\pi \left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \frac{\Delta z}{2} \right) \left(\frac{T_{i-1,j}' - T_{i,j}'}{\Delta r} \right) \\ & - \left[h_t \left(\pi \left[(i-1) \Delta r \right]^2 - \left[\left((i-2) + \frac{1}{2} \right) \Delta r \right]^2 \right) (T_{i,j}' - T_a) \right] \\ & - \left[h_s \left(2\pi (i-1) \Delta r \frac{\Delta z}{2} \right) (T_{i,j}' - T_a) \right] \\ & + Q_{Paddy} - Q_{CLOHP} \end{aligned} \right\} \tag{๗.8}$$

ภาคผนวก ค การคำนวณประสิทธิภาพของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

ในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจะมีสมการที่สำคัญ คือ สมการของความร้อนของข้าวเปลือกจากสมการที่ 14 และสมการประสิทธิภาพของระบบการระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจากสมการที่ 15

โดยในการหาความร้อนที่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสามารถระบายได้ Q_{CLOHP} เป็นการนำความร้อนของข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ได้จากแบบจำลองลบออกด้วยความร้อนของข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจากการทดลองโดยในแบบจำลองจะใช้อากาศที่ได้จากการทดลองในการคำนวณอุณหภูมิข้าวเปลือก ซึ่งจะได้ความร้อนที่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสามารถระบายได้ออกมา สำหรับทั้งความชื้นข้าวเปลือก 26 และ 14 % มาตรฐานเปียก น้ำหนัก 500 กิโลกรัม

ตัวอย่างการคำนวณความร้อนของข้าวเปลือก ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบของความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง มีอุณหภูมิข้าวเปลือกเท่ากับ 39.65367 องศาเซลเซียส และพบว่าที่เวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิของข้าวเปลือกเปลี่ยนไปเท่ากับ 40.11753 องศาเซลเซียส ความร้อนของข้าวเปลือกที่เกิดขึ้นมีค่าเท่าใด

$$\text{จากสมการ } Q_{Paddy} = mc_p \Delta T$$

$$m = 500 \text{ กิโลกรัม}$$

$$c_p = ((3.1 \times 26) + 1.2648) \times 10^3 \text{ จูล / กิโลกรัม องศาเซลเซียส}$$

$$\Delta T = 40.11753 - 39.65367 = 0.463866667 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{ดังนั้น } Q_{Paddy} = 500 \times ((3.1 \times 26) + 1.2648) \times 10^3 \times 0.463866667$$

$$Q_{Paddy} = 18,987,176 \text{ จูล}$$

และในการคำนวณหา Q_{CLOHP} จะคำนวณได้จาก

Q_{Paddy} ที่เกิดขึ้นจากการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจากตัวอย่างการคำนวณเท่ากับ 18,987,176 จูล

และ Q_{Paddy} ที่เกิดขึ้นจากการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 25,128,278 จูล

$$\text{ดังนั้น } Q_{CLOHP} = 25,128,278 - 18,987,176$$

$$Q_{CLOHP} = 6,141,102 \text{ จูล}$$

ซึ่งในการหาประสิทธิภาพของระบบการระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั้น
วงรอบจะได้เท่ากับ

$$\eta = 2.93\text{E}+08 / 5.43\text{E}+08 \times 100 = 53.98 \%$$

เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพของระบบการระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั้น
วงรอบเท่ากับ 53.98 %

ตาราง 5 ประสิทธิภาพของระบบการระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ
ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก

Time (h)	ระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ			ไม่มีการระบายความร้อน			Q_{CLOHP}
	T_{ex}	ΔT	Q_{Paddy}	T_{sim}	ΔT	Q_{Paddy}	
0	39.13487	0	0	40.88132	0	0	0
0.5	39.65367	0.5188	21235729	41.12488	0.243559	9969454	-1.1E+07
1	40.11753	0.463866667	18987176	41.73878	0.613897	25128278	6141102
1.5	40.63573	0.5182	21211170	42.56521	0.826433	33827886	12616716
2	41.2438	0.608066667	24889628	43.55671	0.991506	40584720	15695092
2.5	41.8566	0.6128	25083375	44.69522	1.138509	46601906	21518531
3	42.3338	0.4772	19532941	45.96755	1.272323	52079234	32546293
3.5	42.795	0.4612	18878023	47.36271	1.395165	57107452	38229429
4	43.2398	0.4448	18206732	48.78243	1.419716	58112383	39905652
4.5	43.79553	0.555733333	22747499	49.15362	0.371195	15193902	-7553597
5	44.0978	0.302266667	12372500	49.54324	0.389613	15947795	3575295
5.5	44.48307	0.385266667	15769889	49.95766	0.414423	16963328	1193439
6	44.78013	0.297066667	12159652	50.38547	0.427809	17511249	5351597
6.5	44.9606	0.180466667	7386934	50.81287	0.427401	17494549	10107615
7	45.13067	0.170066667	6961237	51.249	0.436131	17851889	10890652
7.5	45.27533	0.144666667	5921554	51.69942	0.450425	18436976	12515422
8	45.31487	0.039533333	1618194	52.16818	0.46876	19187472	17569278
8.5	45.32547	0.0106	433883.4	52.64874	0.480557	19670351	19236468
9	45.29267	-0.0328	-1342583	53.13777	0.489032	20017253	21359836
9.5	45.25453	-0.0381333	-1560889	53.633	0.49523	20270952	21831841
10	45.23493	-0.0196	-802275	54.13884	0.50584	20705245	21507520
Σ						5.43E+08	2.93E+08
ประสิทธิภาพของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบในการระบายความร้อนที่ความชื้น 26 % มาตรฐานเปียก						η	53.98

ตาราง 6 ประสิทธิภาพของระบบการระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ
ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก

Time (h)	ระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ			ไม่มีการระบายความร้อน			Q_{CLOHP}
	T_{ex}	ΔT	Q_{Paddy}	T_{sim}	ΔT	Q_{Paddy}	
0	26.28947	0	0	26.45221	0	0	0
0.5	26.21973	-0.069733333	-1557313	26.39663	-0.05558	-1241235	316077.9
1	26.13727	-0.082466667	-1841679	26.38465	-0.011986	-267676	1574002
1.5	26.0574	-0.079866667	-1783614	26.34238	-0.042267	-943924	839690.8
2	25.958	-0.0994	-2219841	26.30581	-0.03657	-816696	1403145
2.5	25.87813	-0.079866667	-1783614	26.24419	-0.06162	-1376122	407491.9
3	25.81313	-0.065	-1451606	26.21549	-0.0287	-640940	810666.1
3.5	25.6914	-0.121733333	-2718597	26.17443	-0.041062	-917013	1801584
4	25.63227	-0.059133333	-1320589	26.14235	-0.032084	-716513	604076.5
4.5	25.57907	-0.0532	-1188084	26.0792	-0.063144	-1410157	-222073
5	25.44987	-0.1292	-2885346	26.05258	-0.026626	-594622	2290724
5.5	25.41467	-0.0352	-786100	26.08032	0.027746	619634.8	1405735
6	25.40133	-0.013333333	-297765	26.11774	0.037418	835633.7	1133399
6.5	25.46987	0.068533333	1530514	26.1378	0.02006	447987.9	-1082526
7	25.4804	0.010533333	235234.6	26.17391	0.036109	806400.6	571166
7.5	25.60687	0.126466667	2824304	26.24602	0.072115	1610501	-1213803
8	25.7042	0.097333333	2173687	26.33322	0.087196	1947296	-226391
8.5	25.8712	0.167	3729511	26.43909	0.105875	2364443	-1365068
9	26.12107	0.249866667	5580122	26.54653	0.107435	2399281	-3180841
9.5	26.29787	0.1768	3948368	26.64276	0.096229	2149025	-1799344
10	26.4712	0.173333333	3870949	26.73825	0.09549	2132521	-1738428
Σ						6387826	2329284
ประสิทธิภาพของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความร้อนที่ความชื้น 14 % มาตรฐานเปียก						η	36.46

ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานสำหรับผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากแบบจำลองสามารถหาได้จากสมการ

$$\%STD = \frac{\left[\sum (T_{ex} - T_{sim})^2 / (n_d - 1) \right]^{0.5}}{\bar{T}_{ex}} \times 100$$

ตาราง 7 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานระหว่างผลการทดลองกับแบบจำลองของ อุณหภูมิข้าวเปลือก

Time (h)	T _{ex}	T _{sim}	(T _{ex} - T _{sim}) ²
0	39.158	40.911	3.073009
0.5	40.599	41.41042	0.658402
1	41.319	42.18777	0.754765
1.5	42.202	43.14543	0.89006
2	43.785	44.25745	0.223212
2.5	45.979	45.51386	0.216359
3	48.094	46.9114	1.398552
3.5	50.092	48.45022	2.695448
4	51.507	50.02561	2.194525
4.5	52.412	50.51949	3.581613
5	53.105	51.03738	4.275057
5.5	53.844	51.57341	5.155597
6	54.269	52.12648	4.590379
6.5	54.647	52.69585	3.806994
7	54.951	53.28078	2.789648
7.5	55.27	53.88056	1.930535
8	55.579	54.49452	1.176108
8.5	55.849	55.12194	0.528612
9	56.23	55.76215	0.21888
9.5	56.589	56.41446	0.030465
10	56.906	57.07816	0.029638
เฉลี่ย	50.58981	49.84754	Σ 40.21786
			%STD 2.8

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ - ชื่อสกุล

ศุภชัย ชุมนุมนวัฒน์

วัน เดือน ปี เกิด

25 เมษายน 2530

ที่อยู่ปัจจุบัน

7/17 ถนนสระหลวง ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร 66000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2552

วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผลงานตีพิมพ์

Suppachai Chumnumwat, Piyanun Charoensawan. (2011). "Computational study of Temperature distribution in Paddy bulk storage with Close-Loop Oscillating Heat Pipes". In **International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB III)** (pp. 31 - 38). Danung, Vietnam.

Chumnumwat S., Charoensawan P. (2012). "Temperature controller of Paddy bulk with Closed-Loop Oscillating Heat Pipes". In **International Heat Pipe Conference 16th (16th IHPC)**. Lyon, France.

