

## บรรณานุกรม

1. ทองอร่าม ค., *โครงการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเฉลิมพระเกียรติ*, 2549.
2. เทอดทูล ป., *ท้อความร้อน*, 2536.
3. นันทกิจ อ., *ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ NFT (Nutrient Film Technique)*, ภาควิชา  
ปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง, แหล่งที่มา <http://www.kmitl.ac.th/soilkmitl/hyframe/hydro12.html>.
4. พิชณน์ศิริ ช., *เศรษฐศาสตร์การวิเคราะห์โครงการ*. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเศรษฐศาสตร์  
คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.
5. A Meyer & R. T. Dobson., *A heat pipe heat recovery heat exchanger for a mini-drier*,  
*Journal of Energy in Southern Africa*, 17(1), 2006.
6. Abbas M. Lafta & J. H. Lorenzen., *Effect of High Temperature on Plant Growth and  
Carbohydrate Metabolism in Potato*, *Plant Physiol*, 109 , 637-643, 1995.
7. Baird, C. D., Bucklin, R. A. et al., *Evaporative Cooling System for Aquacultural Production*,  
1993.
8. Engineering Sciences Data Unit (ESDU) 81038, 1981.
9. Holaday AS, Martindale W., et al., *Changes in activities of enzymes of carbon metabolism in  
leaves during exposure of plants to low temperature*, *Plant Physiol*, 98: 1105-1114,  
1992.
10. *Hydroponics*, Department of Agriculture Ministry of Agriculture, แหล่งที่มา  
[http://www.iwmi.cgiar.org/southasia/ruaf/H\\_Eng.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/southasia/ruaf/H_Eng.pdf)
11. Laurent, F., Lee, S.K., and He, J., *A new approach to enhance growth and nodulation of  
Acacia mangium through aeroponic culture*, *Journal of Biol Fertil Soils*, 1997.
12. Liao, M.C., Chiu, H.K., *Wind tunnel modeling the system performance of alternative  
evaporative cooling pads in Taiwan region*, *Journal of Building and environment*,  
Elsevier Science, 2002.

13. Noie, S. H., *Heat transfer characteristics of a two-phase closed Thermosyphon*, Applied Thermal Engineering. 25 , 495-506, 2004.
14. *Nutrient Flow Technique*, Horizen Hydroponics, แหล่งที่มา  
[www.hhydro.com/cgi-bin/hhydro/NFTFAQ.html](http://www.hhydro.com/cgi-bin/hhydro/NFTFAQ.html)
15. Ong, K.S. & Haider-E-Alahi, *Performance of a R-134a-filled thermosyphon*, Applied Thermal Engineering, 23 , 2373-2381, 2003.
16. M.A. Shalaby, F.F. Araid, et al., *Heat transfer performance of a two-phase closed thermosyphons*, Proc. 6th International Heat Pipe Symposium, 269-278, 2000.
17. Mathala J. Gupta and P. Chandra., *Effect of greenhouse design parameters on conservation of energy for greenhouse environmental control*, Energy, 27, 777-794, 2001.
18. Srihajang, N., Ruamrungsri, S. et al., *Heat pipe as a cooling mechanism in an aeroponic system*, Applied Thermal Engineering. 26 , 267-276, 2005.
19. S. H. Noie, M. Lotfi, et al., *Energy Conservation By Waste Heat Recovery In Industry Using Thermosyphon Heat Exchangers*, Iranian Journal of Science & Technology, 28(B6), 2004.
20. S. H. Noie-Baghban and M. B. Ayani., *Effect of Aspect Ratio and Filling Ratio on Heat Transfer Characteristics of A two-phase closed Thermosypho*, Proc. 6<sup>th</sup> International Heat Pipe Symposium, 2000.
21. S., M., *Heat Pipe: Its Origin, Development and Present Situation*, Proc. 6<sup>th</sup> International Heat Pipe Symposium : 3-13, 2000.
22. Shiraishi, M., *Influence of Evaporator Geometry on Performance Limits in Two-Phase Closed Thermosyphons*, International Heat Pipe Conference, 1987.
23. Soylemez, M.S., *On the thermoeconomical optimization of Heat Pipe Heat Exchanger HPHE for waste heat recovery*. Energy Manage., 44: 2509-2517, 2003.
24. Srihajang, N., *Energy Saving In Aeroponic System Using Heat Pipe*, Chiang Mai University, Thailand, 2005.
25. Te-Chen Kao, *The Dynamic Root Floating Hydroponic Technique: Year-Round Production of Vegetables in Roc on Taiwan*, Taichung District Agricultural Improvement Station Tatsuen Hsiang, Changhua, ROC on Taiwan, 1991.

26. Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, *Thermodynamics an engineering approach*, 4<sup>th</sup> Edition, 2002.
27. Zhang Youheng, Sun Zengrun, et al., *Flow patterns and Heat Transfer Crises In a Two-Phase Closed Thermosypho*, International Heat Pipe Conference, 1987.

ภาคผนวก

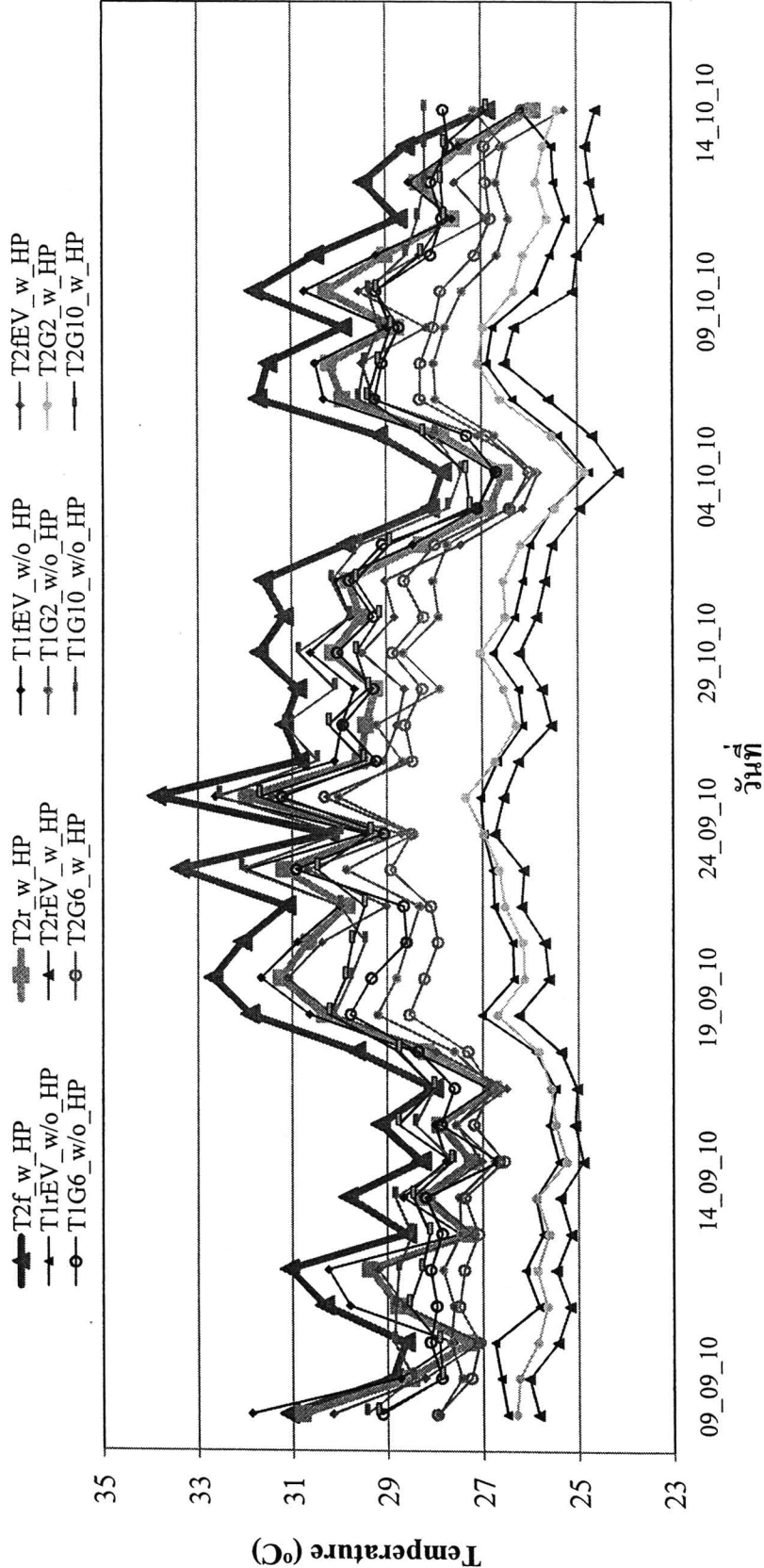


ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ภาคผนวก ก – 1 การกระจายอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยก่อนและหลังผ่านท่อความร้อนของโรงเรือน T2 ที่ติดตั้งท่อความร้อน  
ความสัมพัทธ์ระหว่างวันที่วัดอุณหภูมิกับการกระจายตัวอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยก่อนและหลังผ่านท่อความร้อนของโรงเรือน T2 ที่ติดตั้งท่อความร้อน

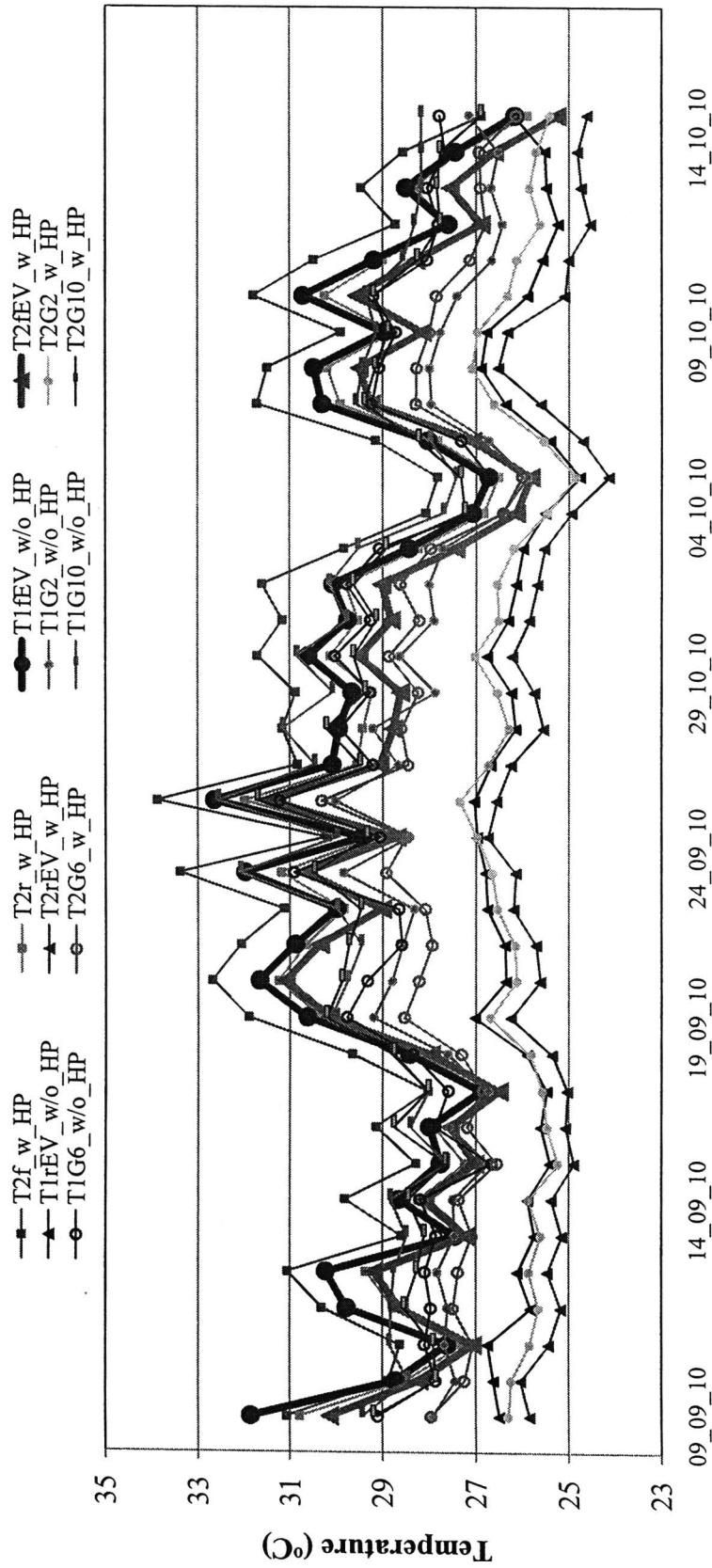
Average air temperature at front and rear Heat Pipe in T2 in 09\_09\_10-14\_10\_10



\* T1HP = อุณหภูมิตำแหน่งหน้าท่อความร้อน, T1HP = อุณหภูมิตำแหน่งหลังท่อความร้อน

ภาคผนวก ก-2 การกระจายอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยก่อนผ่านระบบทำความเย็นแบบแรงแรงเหยของ โรงเรือน T1 และ T2  
ความสัมพันธ์ระหว่างวันที่วัดอุณหภูมิกับการกระจายตัวอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยก่อนผ่านระบบทำความเย็นแบบแรงแรงเหยของโรงเรือน T1 และ T2  
ที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งท่อความร้อน

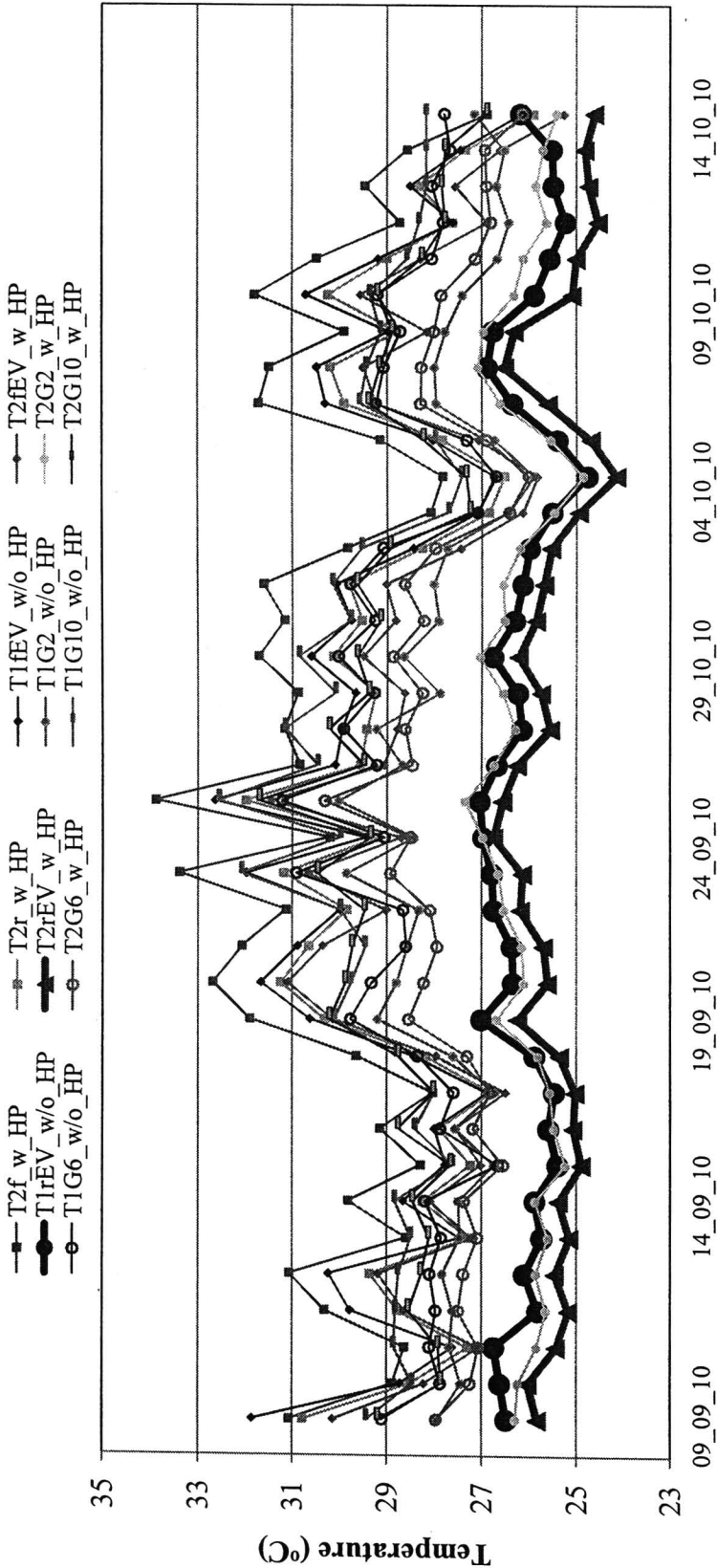
Average air temperature at front Evap Pad in T1 and T2 in 09\_09\_10-



\* T1EV-HP = อุณหภูมิตำแหน่งหน้าเย็นที่ติดตั้งท่อความร้อน, T1EV+HP = อุณหภูมิตำแหน่งหน้าเย็นที่ติดตั้งท่อความร้อน  
วันที่

ภาคผนวก ก-3 การกระจายอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยหลังผ่านระบบทำความเย็นแบบแผงระเหยของโรงเรือน T1 และ T2 ความสัมพันธ์ระหว่างวันที่วัดอุณหภูมิกับการกระจายตัวอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยหลังผ่านระบบทำความเย็นแบบแผงระเหยของโรงเรือน T1 และ T2 ที่ติดตั้งและไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน

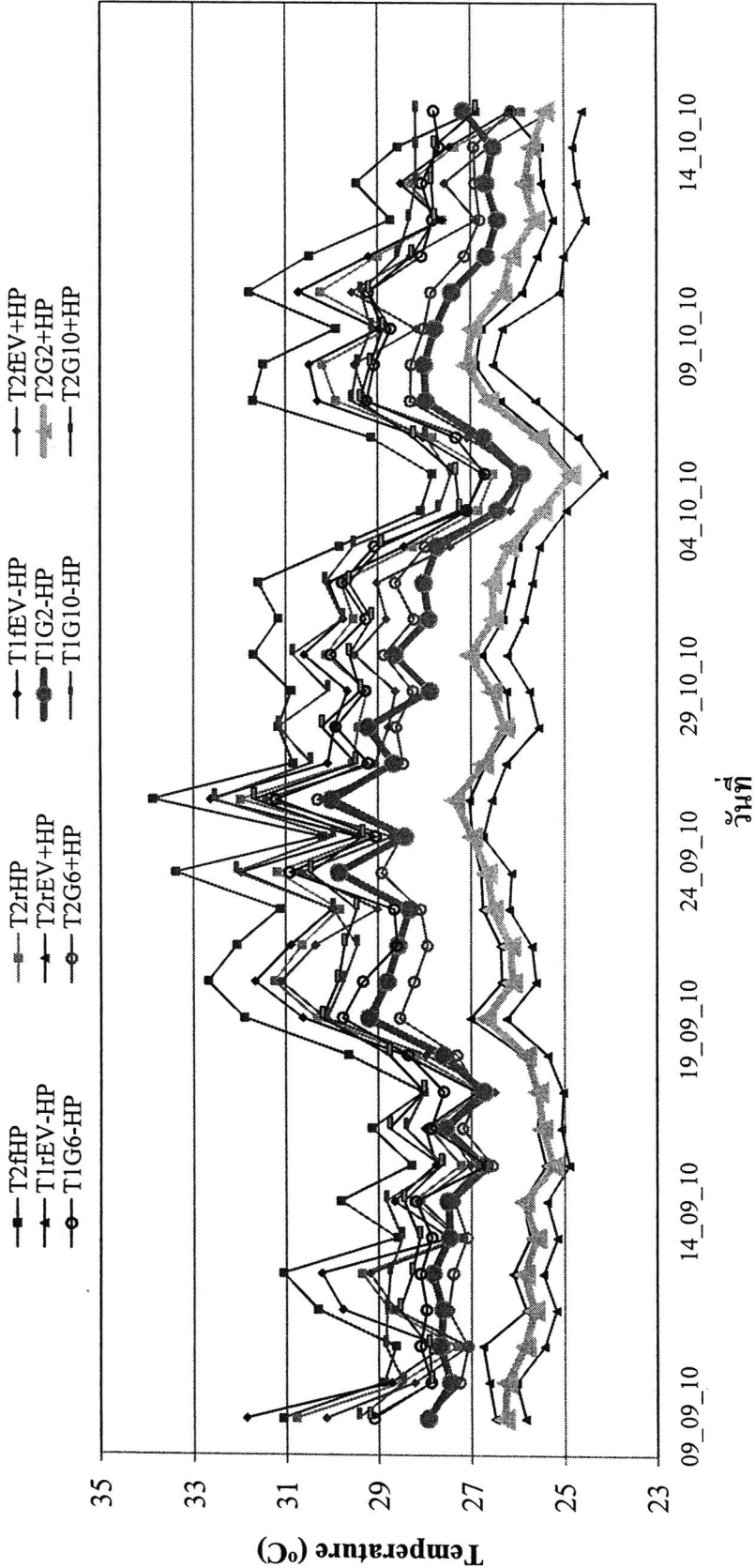
Average air temperature at rear Evap Pad in T1 and T2 in 09\_09\_10-14\_10\_10



วันที่  
\* TrEV-HP = อุณหภูมิตำแหน่งแผงทำเย็นที่ไม่ติดท่อความร้อน, TrEV+HP = อุณหภูมิตำแหน่งแผงทำเย็นที่ติดท่อความร้อน

ภาคผนวก ก - 4 การกระจายอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของโตะปลูกที่ 2 แถวที่ 1 ของโรงเรือน T1 และ T2  
ความสัมพันธ์ระหว่างวันที่วัดอุณหภูมิกับการกระจายตัวของโตะปลูกที่ 2 แถวที่ 1 ของโรงเรือน T1 และ T2 ที่ติดตั้งและไม่ได้ติดตั้งท่อ  
ความร้อน

Average air temperature at table 2 in row 1 in T1 and T2 in 09\_09\_10-14\_10\_10

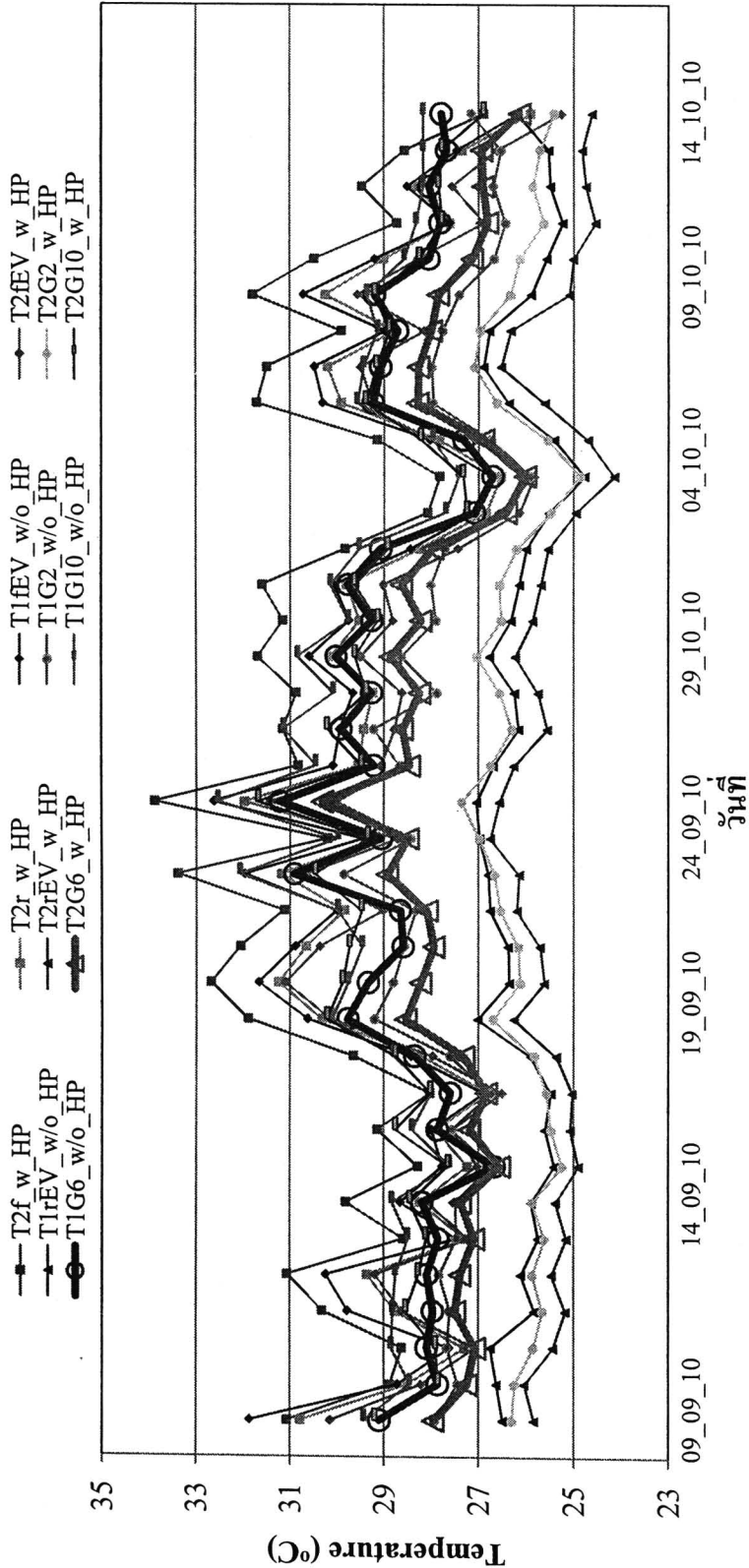


\* T1G2-HP = อุณหภูมิที่โตะปลูกที่ 2 แถวที่ 1 โรงเรือนที่ติดตั้งท่อความร้อน, T2G2+HP = อุณหภูมิที่โตะปลูกที่ 2 แถวที่ 1 โรงเรือนที่ติดตั้งท่อความร้อน

ภาคผนวก ก - 5 การกระจายอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของโตะปลูกที่ 6 แถวที่ 2 ของโรงเรือน T1 และ T2  
ความสัมพันธ์ระหว่างวันที่วัดอุณหภูมิกับการกระจายตัวอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของโตะปลูกที่ 6 แถวที่ 2 ของโรงเรือน T1 และ T2 ที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งท่อ

ความร้อน

Average air temperature at table 6 in row 2 in T1 and T2 in 09\_09\_10-14\_10\_10

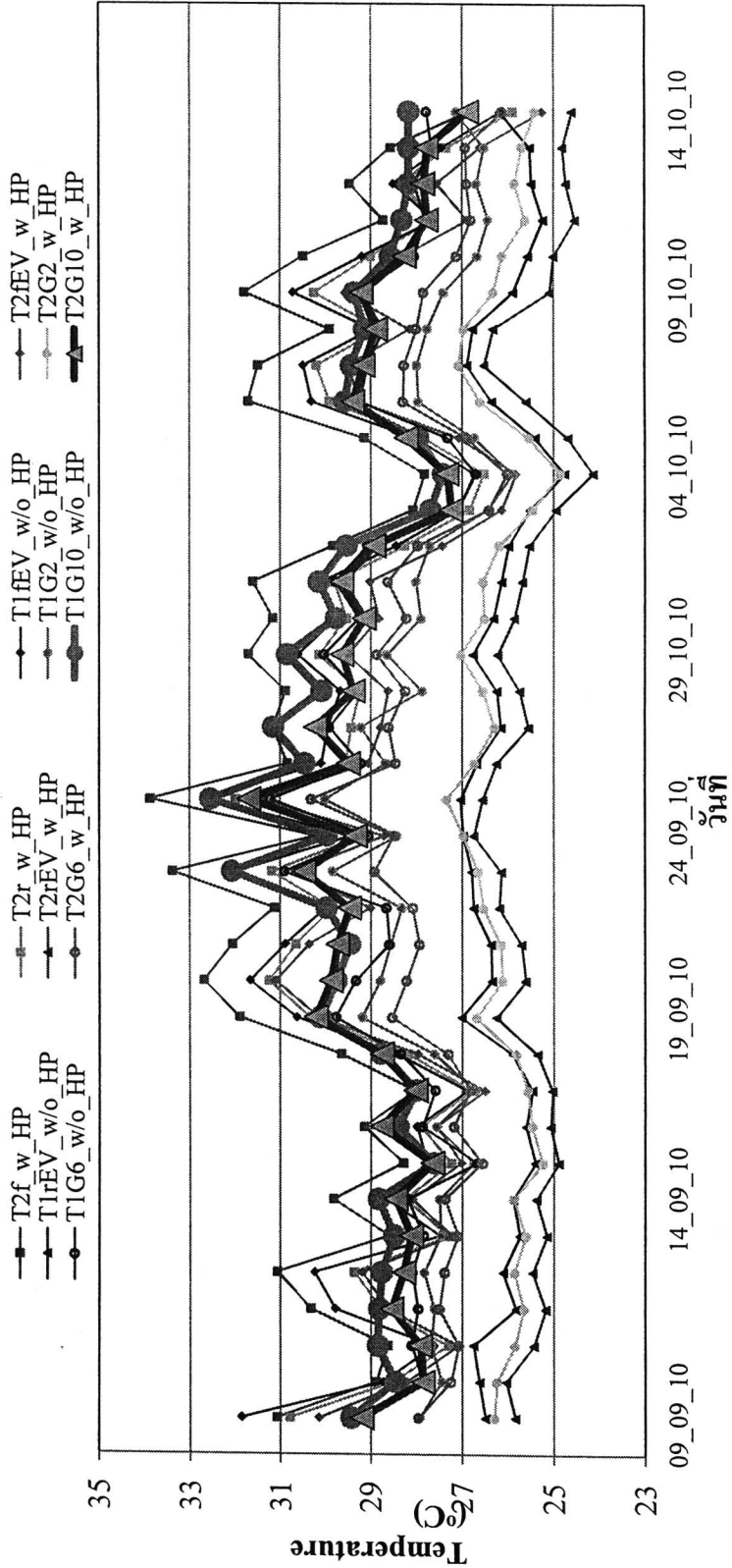


\* T1G6-HP = อุณหภูมิที่โตะปลูกที่ 6 แถวที่ 2 โรงเรือนไม่ติดตั้งความร้อน, T2G6+HP = อุณหภูมิที่โตะปลูกที่ 6 แถวที่ 2 โรงเรือนที่ติดตั้งความร้อน

ภาคผนวก ก -6 การกระจายอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของโตะปลูกที่ 10 แถวที่ 3 ของโรงเรือน T1 และ T2  
ความสัมพันธ์ระหว่างวันที่วัดอุณหภูมิกับการกระจายตัวอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของโตะปลูกที่ 10 แถวที่ 3 ของโรงเรือน T1 และ T2 ที่ติดตั้งและไม่ได้ติดตั้งท่อ

ความร้อน

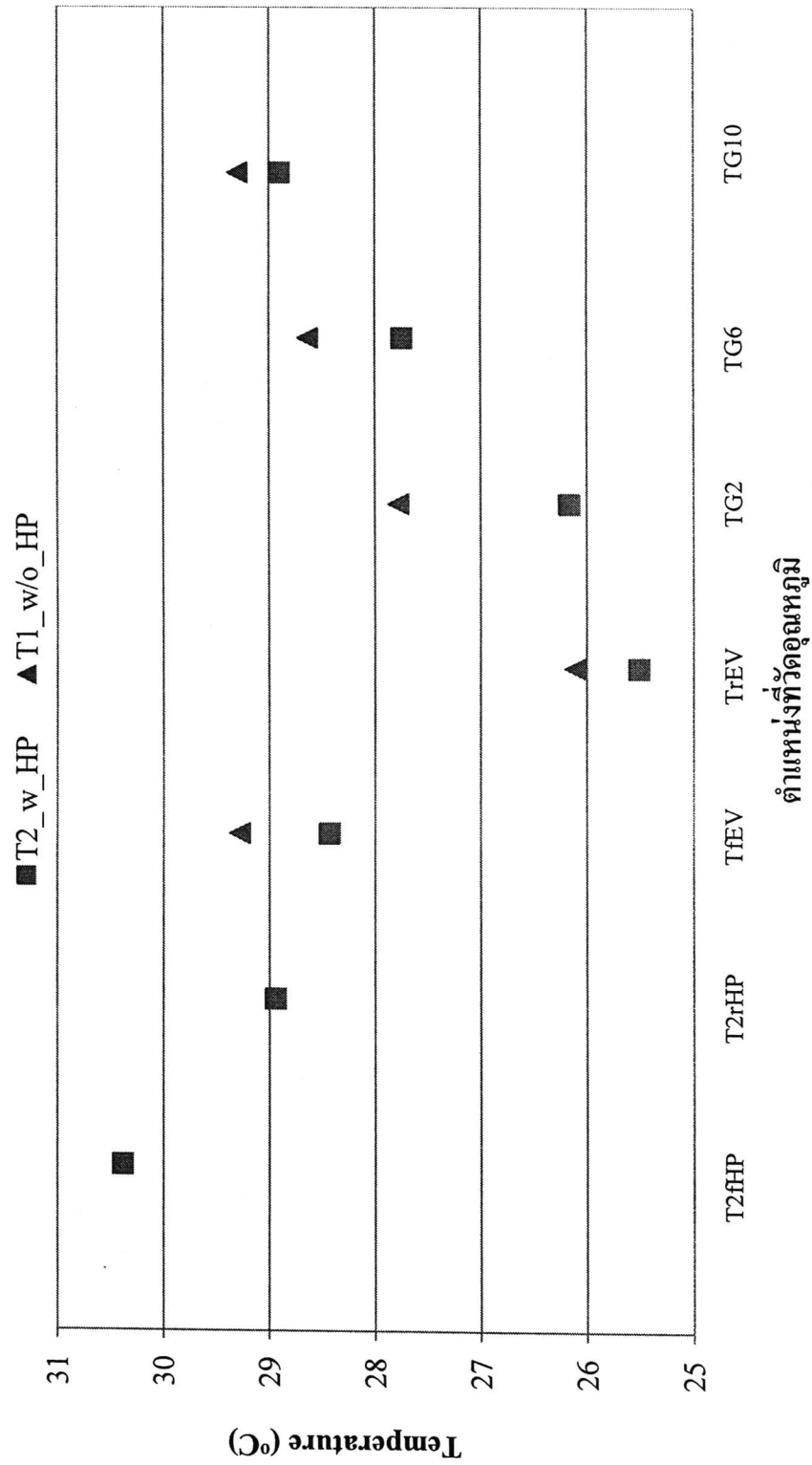
Average air temperature at table 10 in row 3 in T1 and T2 in 09\_09\_10-14\_10\_10



\* T1G10-HP = อุณหภูมิที่โตะปลูกที่ 10 แถวที่ 3 โรงเรือนไม่ติดตั้งความร้อน, T2G10+HP = อุณหภูมิที่โตะปลูกที่ 10 แถวที่ 3 โรงเรือนที่ติดตั้งความร้อน

ภาคผนวก ก - การกระจายอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในแต่ละห้องต่างๆ ของโรงเรือน T1 และ T2

ความสัมพันธ์ระหว่างวันที่วัดอุณหภูมิกับการกระจายตัวอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในแต่ละห้องต่างๆ ของโรงเรือน T1 และ T2 ที่ติดตั้งและไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน





ภาคผนวก ก – 8 ตารางการกระจายอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในตำแหน่งต่างๆ ของโรงเรือน T1 และ T2

ตารางแสดงวันที่วัดอุณหภูมิกับการกระจายตัวอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในตำแหน่งต่างๆ ของโรงเรือน T1 และ T2 ที่ติดตั้งและไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน

| ตำแหน่งที่<br>วัดอุณหภูมิ<br>(°C) | วันที่     | หน้าท่อ                                            | หลังท่อ                                            | หน้าแผง                                            | หลังแผง                                            | โต๊ะปลูก 2                              | โต๊ะปลูก 6                              | โต๊ะปลูก 10                              | หน้าแผง                                              | หลังแผง                                              | โต๊ะปลูก 2                                | โต๊ะปลูก 6                                | โต๊ะปลูก 10                                |
|-----------------------------------|------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                   |            | ความร้อน<br>โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2f<br>w_HP) | ความร้อน<br>โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2r<br>w_HP) | ทำเย็น<br>โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2rEV<br>w_HP) | ทำเย็น<br>โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2rEV<br>w_HP) | โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2G2<br>w_HP) | โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2G6<br>w_HP) | โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2G10<br>w_HP) | ทำเย็น<br>โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T1rEV<br>w/o_HP) | ทำเย็น<br>โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T1rEV<br>w/o_HP) | โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T1G2<br>w/o_HP) | โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T1G6<br>w/o_HP) | โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T1G10<br>w/o_HP) |
|                                   | 9 ก.ย. 53  | 31.1                                               | 30.8                                               | 30.1                                               | 25.8                                               | 26.3                                    | 28.0                                    | 29.2                                     | 31.9                                                 | 26.5                                                 | 27.9                                      | 29.1                                      | 29.4                                       |
|                                   | 10 ก.ย. 53 | 28.9                                               | 28.5                                               | 28.2                                               | 26.0                                               | 26.2                                    | 27.2                                    | 27.9                                     | 28.7                                                 | 26.6                                                 | 27.4                                      | 27.9                                      | 28.5                                       |
|                                   | 11 ก.ย. 53 | 28.6                                               | 27.3                                               | 27.1                                               | 25.4                                               | 25.9                                    | 27.1                                    | 27.9                                     | 27.6                                                 | 26.8                                                 | 27.7                                      | 28.1                                      | 28.9                                       |
|                                   | 12 ก.ย. 53 | 30.3                                               | 28.8                                               | 28.6                                               | 25.2                                               | 25.7                                    | 27.5                                    | 28.5                                     | 29.8                                                 | 25.8                                                 | 27.6                                      | 28.0                                      | 28.8                                       |
|                                   | 13 ก.ย. 53 | 31.1                                               | 29.4                                               | 29.2                                               | 25.5                                               | 25.9                                    | 27.4                                    | 28.3                                     | 30.2                                                 | 26.1                                                 | 27.8                                      | 28.1                                      | 28.8                                       |
|                                   | 14 ก.ย. 53 | 28.6                                               | 27.3                                               | 27.2                                               | 25.2                                               | 25.6                                    | 27.1                                    | 28.1                                     | 27.5                                                 | 25.7                                                 | 27.5                                      | 27.9                                      | 28.5                                       |
|                                   | 15 ก.ย. 53 | 29.8                                               | 28.2                                               | 28.1                                               | 25.4                                               | 25.9                                    | 27.4                                    | 28.5                                     | 28.7                                                 | 25.9                                                 | 27.5                                      | 28.2                                      | 28.8                                       |
|                                   | 16 ก.ย. 53 | 28.3                                               | 27.2                                               | 27.0                                               | 24.9                                               | 25.2                                    | 26.6                                    | 27.6                                     | 27.8                                                 | 25.4                                                 | 26.7                                      | 26.7                                      | 27.6                                       |
|                                   | 17 ก.ย. 53 | 29.1                                               | 27.9                                               | 27.6                                               | 25.1                                               | 25.5                                    | 27.2                                    | 28.8                                     | 28.0                                                 | 25.6                                                 | 27.6                                      | 27.9                                      | 28.4                                       |
|                                   | 18 ก.ย. 53 | 28.0                                               | 26.8                                               | 26.5                                               | 25.0                                               | 25.6                                    | 26.8                                    | 28.0                                     | 26.9                                                 | 25.5                                                 | 26.7                                      | 27.6                                      | 28.0                                       |
|                                   | 19 ก.ย. 53 | 29.6                                               | 28.2                                               | 28.0                                               | 25.4                                               | 25.8                                    | 27.3                                    | 28.7                                     | 28.4                                                 | 25.9                                                 | 27.6                                      | 28.3                                      | 28.8                                       |

ภาคผนวก ก – 8 (ต่อ) ตารางการกระจายอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในตำแหน่งต่างๆ ของโรงเรือน T1 และ T2 (ต่อ)

| ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ (°C) | วันที่     | หน้าท่อ                              | หลังท่อ                              | หน้าแผง                              | หลังแผง                              | โต๊ะปลูก 2                    | โต๊ะปลูก 6                    | โต๊ะปลูก 10                    | หน้าแผง                                | หลังแผง                                | โต๊ะปลูก 2                      | โต๊ะปลูก 6                      | โต๊ะปลูก 10                      |
|----------------------------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|                            |            | ความร้อนโรงเรือนที่ติด HP (T2f w_HP) | ความร้อนโรงเรือนที่ติด HP (T2r w_HP) | ทำเย็นโรงเรือนที่ติด HP (T2fEV w_HP) | ทำเย็นโรงเรือนที่ติด HP (T2rEV w_HP) | โรงเรือนที่ติด HP (T2G2 w_HP) | โรงเรือนที่ติด HP (T2G6 w_HP) | โรงเรือนที่ติด HP (T2G10 w_HP) | ทำเย็นโรงเรือนที่ติด HP (T1fEV w/o_HP) | ทำเย็นโรงเรือนที่ติด HP (T1fEV w/o_HP) | โรงเรือนที่ติด HP (T1G2 w/o_HP) | โรงเรือนที่ติด HP (T1G6 w/o_HP) | โรงเรือนที่ติด HP (T1G10 w/o_HP) |
| วัดอุณหภูมิ                | 20 ก.ย. 53 | 31.9                                 | 30.3                                 | 30.1                                 | 26.2                                 | 26.7                          | 28.5                          | 30.2                           | 30.6                                   | 27.0                                   | 29.2                            | 29.8                            | 30.1                             |
|                            | 21 ก.ย. 53 | 32.7                                 | 31.2                                 | 31.1                                 | 25.6                                 | 26.1                          | 28.2                          | 29.9                           | 31.7                                   | 26.3                                   | 28.8                            | 29.3                            | 29.8                             |
|                            | 22 ก.ย. 53 | 32.1                                 | 30.7                                 | 30.4                                 | 25.7                                 | 26.2                          | 27.9                          | 29.7                           | 30.9                                   | 26.4                                   | 28.6                            | 28.6                            | 29.5                             |
|                            | 23 ก.ย. 53 | 31.1                                 | 29.8                                 | 29.0                                 | 26.2                                 | 26.5                          | 28.1                          | 29.5                           | 30.0                                   | 26.8                                   | 28.3                            | 28.7                            | 30.0                             |
|                            | 24 ก.ย. 53 | 33.4                                 | 31.2                                 | 30.7                                 | 26.1                                 | 26.7                          | 28.9                          | 30.5                           | 32.0                                   | 26.8                                   | 29.8                            | 30.9                            | 32.1                             |
|                            | 25 ก.ย. 53 | 30.2                                 | 29.2                                 | 28.7                                 | 26.7                                 | 27.0                          | 28.5                          | 29.3                           | 29.4                                   | 27.0                                   | 28.4                            | 29.1                            | 30.0                             |
|                            | 26 ก.ย. 53 | 33.9                                 | 32.0                                 | 31.4                                 | 26.6                                 | 27.4                          | 30.3                          | 31.7                           | 32.6                                   | 27.0                                   | 30.0                            | 31.2                            | 32.5                             |
|                            | 27 ก.ย. 53 | 30.8                                 | 29.6                                 | 29.1                                 | 26.3                                 | 26.7                          | 28.5                          | 29.5                           | 30.1                                   | 26.7                                   | 28.7                            | 29.2                            | 30.5                             |
|                            | 28 ก.ย. 53 | 31.2                                 | 29.4                                 | 28.8                                 | 25.6                                 | 26.3                          | 28.6                          | 30.2                           | 30.0                                   | 26.2                                   | 29.2                            | 29.9                            | 31.2                             |
|                            | 29 ก.ย. 53 | 30.9                                 | 29.2                                 | 28.6                                 | 25.7                                 | 26.6                          | 28.2                          | 29.4                           | 29.7                                   | 26.2                                   | 27.9                            | 29.3                            | 30.1                             |
| 1 ต.ค. 53                  | 30 ก.ย. 53 | 31.7                                 | 30.1                                 | 29.5                                 | 26.2                                 | 27.0                          | 28.9                          | 29.6                           | 30.6                                   | 26.8                                   | 28.6                            | 30.0                            | 30.9                             |
|                            | 1 ต.ค. 53  | 31.2                                 | 29.5                                 | 28.8                                 | 25.9                                 | 26.5                          | 28.2                          | 29.1                           | 29.8                                   | 26.3                                   | 27.9                            | 29.3                            | 29.8                             |

ภาคผนวก ก – 8 (ต่อ) ตารางการกระจายอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในตำแหน่งต่างๆ ของโรงเรือน T1 และ T2 (ต่อ)

| ตำแหน่งที่<br>วัดอุณหภูมิ<br>(°C) | วันที่     | หน้าท่อ                                            | หลังท่อ                                            | หน้าแผง                                            | หลังแผง                                            | โต๊ะปลูก 2                                          | โต๊ะปลูก 6                                          | โต๊ะปลูก 10                                          | หน้าแผง                                                | หลังแผง                                                | โต๊ะปลูก 2                                              | โต๊ะปลูก 6                                              | โต๊ะปลูก 10                                              |
|-----------------------------------|------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                   |            | ความร้อน<br>โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2f<br>w_HP) | ความร้อน<br>โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2r<br>w_HP) | ทำเย็น<br>โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2fEV<br>w_HP) | ทำเย็น<br>โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2rEV<br>w_HP) | แถวที่ 1<br>โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2G2<br>w_HP) | แถวที่ 2<br>โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2G6<br>w_HP) | แถวที่ 3<br>โรงเรือน<br>ที่ติด HP<br>(T2G10<br>w_HP) | ทำเย็น<br>โรงเรือน<br>ที่ไมติด HP<br>(T1fEV<br>w/o_HP) | ทำเย็น<br>โรงเรือน<br>ที่ไมติด HP<br>(T1rEV<br>w/o_HP) | แถวที่ 1<br>โรงเรือน<br>ที่ไมติด HP<br>(T1G2<br>w/o_HP) | แถวที่ 2<br>โรงเรือน<br>ที่ไมติด HP<br>(T1G6<br>w/o_HP) | แถวที่ 3<br>โรงเรือน<br>ที่ไมติด HP<br>(T1G10<br>w/o_HP) |
|                                   | 2 ต.ค. 53  | 31.6                                               | 29.8                                               | 29.0                                               | 25.7                                               | 26.6                                                | 28.6                                                | 29.6                                                 | 30.1                                                   | 26.1                                                   | 28.0                                                    | 29.8                                                    | 30.1                                                     |
|                                   | 3 ต.ค. 53  | 29.8                                               | 28.3                                               | 27.4                                               | 25.5                                               | 26.2                                                | 28.0                                                | 28.9                                                 | 28.4                                                   | 26.0                                                   | 27.7                                                    | 29.1                                                    | 29.5                                                     |
|                                   | 4 ต.ค. 53  | 28.1                                               | 26.8                                               | 26.1                                               | 24.9                                               | 25.5                                                | 26.4                                                | 27.2                                                 | 27.1                                                   | 25.5                                                   | 26.4                                                    | 27.1                                                    | 27.7                                                     |
|                                   | 5 ต.ค. 53  | 27.8                                               | 26.5                                               | 25.8                                               | 24.1                                               | 24.9                                                | 26.0                                                | 27.3                                                 | 26.7                                                   | 24.8                                                   | 25.9                                                    | 26.7                                                    | 27.4                                                     |
|                                   | 6 ต.ค. 53  | 29.2                                               | 27.8                                               | 27.1                                               | 24.7                                               | 25.5                                                | 26.9                                                | 28.2                                                 | 28.0                                                   | 25.4                                                   | 26.7                                                    | 27.3                                                    | 28.0                                                     |
|                                   | 7 ต.ค. 53  | 31.7                                               | 29.9                                               | 29.2                                               | 25.6                                               | 26.6                                                | 28.3                                                | 29.4                                                 | 30.3                                                   | 26.4                                                   | 28.0                                                    | 29.2                                                    | 29.6                                                     |
|                                   | 8 ต.ค. 53  | 31.5                                               | 30.2                                               | 29.5                                               | 26.5                                               | 27.1                                                | 28.3                                                | 29.2                                                 | 30.5                                                   | 26.9                                                   | 28.0                                                    | 29.1                                                    | 29.4                                                     |
|                                   | 9 ต.ค. 53  | 29.9                                               | 28.8                                               | 28.2                                               | 26.3                                               | 27.0                                                | 28.0                                                | 28.9                                                 | 29.0                                                   | 26.8                                                   | 27.8                                                    | 28.7                                                    | 29.1                                                     |
|                                   | 10 ต.ค. 53 | 31.8                                               | 30.2                                               | 29.6                                               | 25.1                                               | 26.3                                                | 27.9                                                | 29.2                                                 | 30.7                                                   | 25.9                                                   | 27.4                                                    | 29.2                                                    | 29.4                                                     |
|                                   | 11 ต.ค. 53 | 30.5                                               | 29.0                                               | 28.3                                               | 25.0                                               | 26.1                                                | 27.1                                                | 28.3                                                 | 29.2                                                   | 25.6                                                   | 26.7                                                    | 28.1                                                    | 28.6                                                     |
|                                   | 12 ต.ค. 53 | 28.7                                               | 27.6                                               | 26.9                                               | 24.5                                               | 25.6                                                | 26.8                                                | 27.8                                                 | 27.6                                                   | 25.2                                                   | 26.4                                                    | 27.8                                                    | 28.3                                                     |

ภาคผนวก ก – 8 (ต่อ) ตารางการกระจายอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในตำแหน่งต่างๆ ของโรงเรือน T1 และ T2 (ต่อ)

| ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ (°C) | หน้าท่อ                   | หลังท่อ                   | หน้าแผง                   | หลังแผง                   | โต๊ะปลูก 2                 | โต๊ะปลูก 6                 | โต๊ะปลูก 10                | หน้าแผง                 | หลังแผง                 | โต๊ะปลูก 2                 | โต๊ะปลูก 6                 | โต๊ะปลูก 10                |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                            | ความร้อนโรงเรือนที่ติด HP | ความร้อนโรงเรือนที่ติด HP | ความร้อนโรงเรือนที่ติด HP | ความร้อนโรงเรือนที่ติด HP | แถวที่ 1 โรงเรือนที่ติด HP | แถวที่ 2 โรงเรือนที่ติด HP | แถวที่ 3 โรงเรือนที่ติด HP | ทำเย็นโรงเรือนที่ติด HP | ทำเย็นโรงเรือนที่ติด HP | แถวที่ 1 โรงเรือนที่ติด HP | แถวที่ 2 โรงเรือนที่ติด HP | แถวที่ 3 โรงเรือนที่ติด HP |
| วันที่                     | (T2f w_HP)                | (T2r w_HP)                | (T2fEV w_HP)              | (T2fEV w_HP)              | (T2G2 w_HP)                | (T2G6 w_HP)                | (T2G10 w_HP)               | (T1fEV w/o_HP)          | (T1fEV w/o_HP)          | (T1G2 w/o_HP)              | (T1G6 w/o_HP)              | (T1G10 w/o_HP)             |
| 13 ต.ค. 53                 | 29.5                      | 28.3                      | 27.6                      | 24.7                      | 25.9                       | 26.9                       | 27.8                       | 28.5                    | 25.5                    | 26.7                       | 28.1                       | 28.2                       |
| 14 ต.ค. 53                 | 28.6                      | 27.4                      | 26.6                      | 24.8                      | 25.7                       | 26.9                       | 27.8                       | 27.5                    | 25.5                    | 26.5                       | 27.7                       | 28.2                       |
| เฉลี่ย                     | 30.4                      | 29.0                      | 28.5                      | 25.5                      | 26.2                       | 27.7                       | 28.9                       | 29.3                    | 26.1                    | 27.8                       | 28.6                       | 29.3                       |

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงคุณสมบัติของสารทำงาน

ตาราง ๗ - 1 คุณสมบัติของน้ำ

| Temp.<br>°C | Pressure<br>MPa | Density<br>kg/m <sup>3</sup> |         | Enthalpy<br>kJ/kg |        | Cv<br>kJ/kg.K |         | Cp<br>kJ/kg.K |       | Absolute Viscosity<br>MicroPas |       | Thermal Conductivity<br>W/m.K |         | Surface<br>N/m |       |
|-------------|-----------------|------------------------------|---------|-------------------|--------|---------------|---------|---------------|-------|--------------------------------|-------|-------------------------------|---------|----------------|-------|
|             |                 | Liquid                       | Vapor   | Liquid            | Vapor  | Liquid        | Vapor   | Liquid        | Vapor | Liquid                         | Vapor | Liquid                        | Vapor   | Liquid         | Vapor |
| 0.01        | 0.00061         | 999.8                        | 0.00485 | 0.0               | 2500.5 | 3.17970       | 1.40451 | 4.229         | 1.868 | 1792.4                         | 9.22  | 0.5610                        | 0.01707 | 0.07565        |       |
| 5.00        | 0.00087         | 999.9                        | 0.00680 | 21.0              | 2509.7 | 3.15789       | 1.40677 | 4.200         | 1.871 | 1519.1                         | 9.34  | 0.5705                        | 0.01734 | 0.07495        |       |
| 10.00       | 0.00123         | 999.7                        | 0.00941 | 42.0              | 2518.9 | 3.14887       | 1.40902 | 4.188         | 1.874 | 1306.6                         | 9.46  | 0.5800                        | 0.01762 | 0.07422        |       |
| 15.00       | 0.00171         | 999.1                        | 0.01284 | 62.9              | 2528.0 | 3.14586       | 1.41203 | 4.184         | 1.878 | 1138.2                         | 9.59  | 0.5893                        | 0.01792 | 0.07349        |       |
| 20.00       | 0.00234         | 998.2                        | 0.01731 | 83.8              | 2537.2 | 3.14511       | 1.41504 | 4.183         | 1.882 | 1002.1                         | 9.73  | 0.5984                        | 0.01823 | 0.07274        |       |
| 25.00       | 0.00311         | 997.0                        | 0.02306 | 104.8             | 2546.3 | 3.14511       | 1.41880 | 4.183         | 1.887 | 890.5                          | 9.87  | 0.6071                        | 0.01855 | 0.07198        |       |
| 30.00       | 0.00425         | 995.6                        | 0.03040 | 125.7             | 2555.3 | 3.14511       | 1.42256 | 4.183         | 1.892 | 797.7                          | 10.01 | 0.6154                        | 0.01888 | 0.07120        |       |
| 35.00       | 0.00563         | 994.0                        | 0.03965 | 146.6             | 2564.4 | 3.14511       | 1.42707 | 4.183         | 1.898 | 719.6                          | 10.16 | 0.6232                        | 0.01923 | 0.07041        |       |
| 40.00       | 0.00738         | 992.2                        | 0.05121 | 167.5             | 2573.4 | 3.14436       | 1.43233 | 4.182         | 1.905 | 653.2                          | 10.31 | 0.6305                        | 0.01960 | 0.06960        |       |
| 45.00       | 0.00959         | 990.2                        | 0.06552 | 188.4             | 2582.3 | 3.14436       | 1.43759 | 4.182         | 1.912 | 596.3                          | 10.46 | 0.6373                        | 0.01997 | 0.06878        |       |
| 50.00       | 0.01234         | 988.0                        | 0.08308 | 209.3             | 2591.2 | 3.14436       | 1.44286 | 4.182         | 1.919 | 547.0                          | 10.62 | 0.6435                        | 0.02036 | 0.06795        |       |
| 55.00       | 0.01575         | 985.6                        | 0.10446 | 230.2             | 2600.0 | 3.14200       | 1.44853 | 4.182         | 1.928 | 504.1                          | 10.77 | 0.6492                        | 0.02077 | 0.06710        |       |
| 60.00       | 0.01993         | 983.2                        | 0.13030 | 251.2             | 2608.8 | 3.14275       | 1.45530 | 4.183         | 1.937 | 466.5                          | 10.93 | 0.6543                        | 0.02118 | 0.06624        |       |
| 65.00       | 0.02502         | 980.5                        | 0.16130 | 272.1             | 2617.5 | 3.14350       | 1.46281 | 4.184         | 1.947 | 433.4                          | 11.10 | 0.6589                        | 0.02162 | 0.06537        |       |
| 70.00       | 0.03118         | 977.8                        | 0.19823 | 293.0             | 2626.1 | 3.14339       | 1.46997 | 4.187         | 1.958 | 404.0                          | 11.26 | 0.6631                        | 0.02207 | 0.06449        |       |
| 75.00       | 0.03856         | 974.8                        | 0.24194 | 314.0             | 2634.6 | 3.14329       | 1.47787 | 4.190         | 1.970 | 377.8                          | 11.42 | 0.6667                        | 0.02253 | 0.06359        |       |
| 80.00       | 0.04737         | 971.8                        | 0.29336 | 334.9             | 2643.1 | 3.14393       | 1.48651 | 4.194         | 1.983 | 354.5                          | 11.59 | 0.6700                        | 0.02301 | 0.06268        |       |
| 85.00       | 0.05781         | 968.6                        | 0.35349 | 355.9             | 2651.4 | 3.14532       | 1.49513 | 4.199         | 1.996 | 333.4                          | 11.76 | 0.6728                        | 0.02350 | 0.06176        |       |
| 90.00       | 0.07012         | 965.3                        | 0.42342 | 376.9             | 2659.6 | 3.14671       | 1.50524 | 4.204         | 2.011 | 314.5                          | 11.93 | 0.6753                        | 0.02402 | 0.06082        |       |
| 95.00       | 1.08453         | 961.9                        | 0.50434 | 398.0             | 2667.7 | 3.14649       | 1.51495 | 4.210         | 2.027 | 297.4                          | 12.10 | 0.6774                        | 0.02455 | 0.05988        |       |
| 100.00      | 0.10132         | 958.4                        | 0.59751 | 419.1             | 2675.7 | 3.14937       | 1.52651 | 4.217         | 2.044 | 281.8                          | 12.27 | 0.6791                        | 0.02509 | 0.05892        |       |
| 105.00      | 0.12079         | 954.8                        | 0.70423 | 440.2             | 2683.6 | 3.14989       | 1.53766 | 4.224         | 2.062 | 267.7                          | 12.44 | 0.6806                        | 0.02566 | 0.05795        |       |
| 110.00      | 0.14324         | 951.0                        | 0.82604 | 461.3             | 2691.3 | 3.14881       | 1.54911 | 4.232         | 2.082 | 254.8                          | 12.61 | 0.6817                        | 0.02624 | 0.05697        |       |

ตาราง ข - 1 (ต่อ) คุณสมบัติของน้ำ (ต่อ)

| Temp.<br>°C | Pressure<br>MPa | Density<br>kg/m <sup>3</sup> |          | Enthalpy<br>kJ/kg |        | Cv<br>kJ/kg.K |         | Cp<br>kJ/kg.K |       | Absolute Viscosity<br>MicroPa.s |       | Thermal Conductivity<br>W/m.K |         | Surface<br>N/m |       |
|-------------|-----------------|------------------------------|----------|-------------------|--------|---------------|---------|---------------|-------|---------------------------------|-------|-------------------------------|---------|----------------|-------|
|             |                 | Liquid                       | Vapor    | Liquid            | Vapor  | Liquid        | Vapor   | Liquid        | Vapor | Liquid                          | Vapor | Liquid                        | Vapor   | Liquid         | Vapor |
| 115.00      | 0.16902         | 947.1                        | 0.96432  | 482.5             | 2698.8 | 3.15007       | 1.56241 | 4.240         | 2.103 | 243.0                           | 12.78 | 0.6826                        | 0.02684 | 0.05598        |       |
| 120.00      | 0.19848         | 943.2                        | 1.12080  | 503.8             | 2706.2 | 3.14974       | 1.57598 | 4.249         | 2.126 | 232.1                           | 12.96 | 0.6832                        | 0.02746 | 0.05497        |       |
| 125.00      | 0.23201         | 939.1                        | 1.29720  | 525.1             | 2713.4 | 3.14941       | 1.59024 | 4.258         | 2.150 | 222.2                           | 13.13 | 0.6836                        | 0.02810 | 0.05396        |       |
| 130.00      | 0.27002         | 934.9                        | 1.49539  | 546.4             | 2720.4 | 3.14982       | 1.60590 | 4.268         | 2.176 | 213.0                           | 13.30 | 0.6837                        | 0.02876 | 0.05294        |       |
| 135.00      | 0.31293         | 930.6                        | 1.71721  | 567.8             | 2727.2 | 3.14790       | 1.62104 | 4.278         | 2.203 | 204.5                           | 13.47 | 0.6836                        | 0.02944 | 0.05191        |       |
| 140.00      | 0.36119         | 926.2                        | 1.96471  | 589.2             | 2733.8 | 3.14600       | 1.63830 | 4.288         | 2.233 | 196.6                           | 13.65 | 0.6833                        | 0.03013 | 0.05086        |       |
| 145.00      | 0.41529         | 921.7                        | 2.23999  | 610.8             | 2740.2 | 3.14327       | 1.65570 | 4.300         | 2.265 | 189.3                           | 13.82 | 0.6828                        | 0.03085 | 0.04981        |       |
| 150.00      | 0.47572         | 917.1                        | 2.54537  | 632.3             | 2746.4 | 3.14057       | 1.67444 | 4.312         | 2.299 | 182.5                           | 13.99 | 0.6821                        | 0.03159 | 0.04875        |       |
| 155.00      | 0.54299         | 912.3                        | 2.88342  | 654.0             | 2752.3 | 3.13861       | 1.69448 | 4.325         | 2.335 | 176.2                           | 14.16 | 0.6811                        | 0.03235 | 0.04768        |       |
| 160.00      | 0.61766         | 907.5                        | 3.25637  | 675.6             | 2758.0 | 3.13439       | 1.71532 | 4.338         | 2.374 | 170.3                           | 14.34 | 0.6800                        | 0.03312 | 0.04660        |       |
| 165.00      | 0.70029         | 902.6                        | 3.66703  | 697.4             | 2763.3 | 3.12940       | 1.73616 | 4.353         | 2.415 | 164.8                           | 14.51 | 0.6786                        | 0.03392 | 0.04551        |       |
| 170.00      | 0.79147         | 897.5                        | 4.11811  | 719.3             | 2768.5 | 3.12518       | 1.75966 | 4.369         | 2.460 | 159.6                           | 14.68 | 0.6771                        | 0.03474 | 0.04441        |       |
| 175.00      | 0.8918          | 892.3                        | 4.61276  | 741.2             | 2773.3 | 3.11949       | 1.78307 | 4.386         | 2.507 | 154.7                           | 14.85 | 0.6753                        | 0.03558 | 0.04331        |       |
| 180.00      | 1.0019          | 887.1                        | 5.15384  | 763.2             | 2777.8 | 3.11386       | 1.80905 | 4.403         | 2.558 | 150.2                           | 15.02 | 0.6734                        | 0.03644 | 0.04220        |       |
| 185.00      | 1.1225          | 881.7                        | 5.74515  | 785.4             | 2782.0 | 3.10822       | 1.83556 | 4.423         | 2.612 | 145.9                           | 15.20 | 0.6712                        | 0.03732 | 0.04108        |       |
| 190.00      | 1.2542          | 876.1                        | 6.38978  | 807.6             | 2785.8 | 3.10049       | 1.86322 | 4.443         | 2.670 | 141.8                           | 15.37 | 0.6688                        | 0.03823 | 0.03995        |       |
| 195.00      | 1.3976          | 870.5                        | 7.09119  | 829.9             | 2789.4 | 3.09425       | 1.89258 | 4.465         | 2.731 | 138.0                           | 15.54 | 0.6662                        | 0.03915 | 0.03882        |       |
| 200.00      | 1.5536          | 864.7                        | 7.85423  | 852.4             | 2792.5 | 3.08522       | 1.92234 | 4.489         | 2.797 | 134.4                           | 15.71 | 0.6634                        | 0.04010 | 0.03768        |       |
| 205.00      | 1.7229          | 858.9                        | 8.68282  | 875.0             | 2795.3 | 3.07771       | 1.95433 | 4.515         | 2.867 | 130.9                           | 15.89 | 0.6603                        | 0.04108 | 0.03654        |       |
| 210.00      | 1.9062          | 852.8                        | 9.58038  | 897.7             | 2797.7 | 3.06892       | 1.98851 | 4.542         | 2.943 | 127.6                           | 16.06 | 0.6571                        | 0.04207 | 0.03539        |       |
| 215.00      | 2.1042          | 846.6                        | 10.55409 | 920.5             | 2799.7 | 3.05819       | 2.02207 | 4.572         | 3.023 | 124.5                           | 16.23 | 0.6535                        | 0.04310 | 0.03424        |       |
| 220.00      | 2.3178          | 840.3                        | 11.60766 | 943.5             | 2801.3 | 3.04901       | 2.05894 | 4.604         | 3.109 | 121.6                           | 16.41 | 0.6498                        | 0.04415 | 0.03308        |       |
| 225.00      | 2.5479          | 833.9                        | 12.74535 | 966.7             | 2802.4 | 3.03733       | 2.09627 | 4.638         | 3.201 | 118.7                           | 16.59 | 0.6457                        | 0.04524 | 0.03191        |       |



ตาราง ข – 1 (ต่อ) คุณสมบัติของน้ำ (ต่อ)

| Temp.<br>°C | Pressure<br>MPa | Density<br>kg/m <sup>3</sup> |           | Enthalpy<br>kJ/kg |        | Cv<br>kJ/kg.K |         | Cp<br>kJ/kg.K |        | Absolute Viscosity<br>MicroPa.s |       | Thermal Conductivity<br>W/m.K |         | Surface<br>N/m |       |
|-------------|-----------------|------------------------------|-----------|-------------------|--------|---------------|---------|---------------|--------|---------------------------------|-------|-------------------------------|---------|----------------|-------|
|             |                 | Liquid                       | Vapor     | Liquid            | Vapor  | Liquid        | Vapor   | Liquid        | Vapor  | Liquid                          | Vapor | Liquid                        | Vapor   | Liquid         | Vapor |
| 230.00      | 2.7951          | 827.2                        | 13.97624  | 990.0             | 2803.1 | 3.02393       | 2.13454 | 4.675         | 3.300  | 116.0                           | 16.76 | 0.6414                        | 0.04635 | 0.03075        |       |
| 235.00      | 3.0604          | 820.5                        | 15.30456  | 1013.5            | 2803.3 | 3.01278       | 2.17572 | 4.715         | 3.405  | 113.4                           | 16.94 | 0.6369                        | 0.04751 | 0.02958        |       |
| 240.00      | 3.3447          | 813.5                        | 16.73920  | 1037.2            | 2803.0 | 2.99874       | 2.21739 | 4.759         | 3.519  | 110.9                           | 17.12 | 0.6320                        | 0.04870 | 0.02840        |       |
| 245.00      | 3.6488          | 806.4                        | 18.28488  | 1061.2            | 2802.1 | 2.98509       | 2.26149 | 4.806         | 3.641  | 108.5                           | 17.31 | 0.6268                        | 0.04994 | 0.02723        |       |
| 250.00      | 3.9736          | 799.1                        | 19.95610  | 1085.3            | 2800.7 | 2.96883       | 2.30562 | 4.857         | 3.772  | 106.2                           | 17.49 | 0.6214                        | 0.05122 | 0.02605        |       |
| 255.00      | 4.3202          | 791.5                        | 21.75805  | 1109.7            | 2798.8 | 2.95192       | 2.35216 | 4.912         | 3.914  | 103.9                           | 17.68 | 0.6156                        | 0.05257 | 0.02488        |       |
| 260.00      | 4.6894          | 783.8                        | 23.70230  | 1134.4            | 2796.2 | 2.93566       | 2.40201 | 4.973         | 4.069  | 101.7                           | 17.88 | 0.6094                        | 0.05398 | 0.02370        |       |
| 265.00      | 5.0823          | 775.9                        | 25.79979  | 1159.3            | 2793.0 | 2.91609       | 2.45139 | 5.039         | 4.236  | 99.6                            | 18.07 | 0.6030                        | 0.05547 | 0.02252        |       |
| 270.00      | 5.4999          | 767.7                        | 28.05836  | 1184.6            | 2789.1 | 2.89575       | 2.50312 | 5.111         | 4.418  | 97.5                            | 18.28 | 0.5961                        | 0.05704 | 0.02135        |       |
| 275.00      | 5.9431          | 759.2                        | 30.50641  | 1210.1            | 2784.5 | 2.87431       | 2.55648 | 5.191         | 4.617  | 95.5                            | 18.48 | 0.5889                        | 0.05872 | 0.02017        |       |
| 280.00      | 6.4132          | 750.5                        | 33.15650  | 1236.1            | 2779.2 | 2.85197       | 2.61210 | 5.279         | 4.835  | 93.6                            | 18.70 | 0.5814                        | 0.06052 | 0.01900        |       |
| 285.00      | 6.9111          | 741.5                        | 36.01008  | 1262.4            | 2773.0 | 2.82702       | 2.66930 | 5.377         | 5.077  | 91.6                            | 18.92 | 0.5735                        | 0.06247 | 0.01784        |       |
| 290.00      | 7.438           | 732.2                        | 39.12363  | 1289.1            | 2765.9 | 2.79990       | 2.72843 | 5.485         | 5.345  | 89.7                            | 19.15 | 0.5652                        | 0.06459 | 0.01668        |       |
| 295.00      | 7.9952          | 722.5                        | 42.48088  | 1316.3            | 2757.8 | 2.77026       | 2.78854 | 5.607         | 5.644  | 87.8                            | 19.39 | 0.5566                        | 0.06691 | 0.01552        |       |
| 300.00      | 8.5838          | 712.4                        | 46.14675  | 1344.1            | 2748.7 | 2.74010       | 2.85217 | 5.746         | 5.981  | 85.9                            | 19.65 | 0.5477                        | 0.06949 | 0.01437        |       |
| 310.00      | 9.8605          | 691.0                        | 54.52563  | 1401.2            | 2727.0 | 2.66959       | 2.98333 | 6.084         | 6.799  | 82.2                            | 20.21 | 0.5290                        | 0.07561 | 0.01210        |       |
| 320.00      | 11.279          | 667.4                        | 64.59948  | 1461.3            | 2699.7 | 2.58884       | 3.12545 | 6.542         | 7.898  | 78.4                            | 20.84 | 0.5094                        | 0.08359 | 0.00988        |       |
| 330.00      | 12.852          | 641.0                        | 77.04160  | 1525.0            | 2665.3 | 2.49515       | 3.27477 | 7.201         | 9.451  | 74.6                            | 21.60 | 0.4892                        | 0.09448 | 0.00771        |       |
| 340.00      | 14.594          | 610.8                        | 92.67841  | 1593.8            | 2621.3 | 2.38990       | 3.44212 | 8.238         | 11.865 | 70.4                            | 22.55 | 0.4686                        | 0.11020 | 0.00564        |       |
| 350.00      | 16.521          | 574.7                        | 113.50738 | 1670.4            | 2563.5 | 2.27653       | 3.62185 | 10.126        | 16.110 | 65.9                            | 23.81 | 0.4470                        | 0.13465 | 0.00368        |       |
| 360.00      | 18.655          | 528.1                        | 143.67816 | 1761.0            | 2482.0 | 2.17469       | 3.81865 | 14.690        | 25.795 | 60.4                            | 15.71 | 0.4272                        | 0.17801 | 0.00189        |       |
| 370.00      | 21.03           | 453.1                        | 200.40080 | 1889.7            | 2340.2 | 2.16564       | 4.06499 | 41.955        | 78.751 | 52.3                            | 29.57 | 0.4280                        | 0.29938 | 0.00039        |       |



ตาราง ข -2 คุณสมบัติของอากาศ

| Temp.<br>°C | Pressure<br>MPa | Density<br>kg/m <sup>3</sup> |        | Enthalpy<br>kJ/kg |       | Cv<br>kJ/kg.K |       | Cp<br>kJ/kg.K |       | Absolute Viscosity<br>MicroPa.s |       | Thermal Conductivity<br>W/m.K |       | Surface<br>N/m |       |
|-------------|-----------------|------------------------------|--------|-------------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------------------------|-------|-------------------------------|-------|----------------|-------|
|             |                 | Liquid                       | Vapor  | Liquid            | Vapor | Liquid        | Vapor | Liquid        | Vapor | Liquid                          | Vapor | Liquid                        | Vapor | Liquid         | Vapor |
| -173.15     | 0               | 0                            | 3.5562 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.032 | 0                               | 7.11  | 0                             | 0.009 | 0              | 0     |
| -123.15     | 0               | 0                            | 2.3364 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.012 | 0                               | 10.34 | 0                             | 0.014 | 0              | 0     |
| -73.15      | 0               | 0                            | 1.7458 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.007 | 0                               | 13.25 | 0                             | 0.018 | 0              | 0     |
| -23.15      | 0               | 0                            | 1.3947 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.006 | 0                               | 15.96 | 0                             | 0.022 | 0              | 0     |
| 26.85       | 0               | 0                            | 1.1614 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.007 | 0                               | 18.46 | 0                             | 0.026 | 0              | 0     |
| 76.85       | 0               | 0                            | 0.995  | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.009 | 0                               | 20.82 | 0                             | 0.03  | 0              | 0     |
| 126.85      | 0               | 0                            | 0.8711 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.014 | 0                               | 23.01 | 0                             | 0.034 | 0              | 0     |
| 176.85      | 0               | 0                            | 0.774  | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.021 | 0                               | 25.07 | 0                             | 0.037 | 0              | 0     |
| 226.85      | 0               | 0                            | 0.6964 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.03  | 0                               | 27.01 | 0                             | 0.041 | 0              | 0     |
| 276.85      | 0               | 0                            | 0.6329 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.04  | 0                               | 28.84 | 0                             | 0.044 | 0              | 0     |
| 326.85      | 0               | 0                            | 0.5804 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.051 | 0                               | 30.58 | 0                             | 0.047 | 0              | 0     |
| 376.85      | 0               | 0                            | 0.5356 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.063 | 0                               | 32.25 | 0                             | 0.05  | 0              | 0     |
| 426.85      | 0               | 0                            | 0.4975 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.075 | 0                               | 33.88 | 0                             | 0.052 | 0              | 0     |
| 476.85      | 0               | 0                            | 0.4643 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.087 | 0                               | 35.46 | 0                             | 0.055 | 0              | 0     |
| 526.85      | 0               | 0                            | 0.4354 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.099 | 0                               | 36.98 | 0                             | 0.057 | 0              | 0     |
| 576.85      | 0               | 0                            | 0.4097 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.11  | 0                               | 38.43 | 0                             | 0.06  | 0              | 0     |
| 626.85      | 0               | 0                            | 0.3868 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.121 | 0                               | 39.81 | 0                             | 0.062 | 0              | 0     |
| 676.85      | 0               | 0                            | 0.3666 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.131 | 0                               | 41.13 | 0                             | 0.064 | 0              | 0     |
| 726.85      | 0               | 0                            | 0.3482 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.141 | 0                               | 42.44 | 0                             | 0.067 | 0              | 0     |
| 826.85      | 0               | 0                            | 0.3166 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.159 | 0                               | 44.9  | 0                             | 0.072 | 0              | 0     |
| 926.85      | 0               | 0                            | 0.2902 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.175 | 0                               | 47.3  | 0                             | 0.076 | 0              | 0     |
| 1026.85     | 0               | 0                            | 0.2679 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.189 | 0                               | 49.6  | 0                             | 0.082 | 0              | 0     |

ตาราง ข -2 (ต่อ) คุณสมบัติของอากาศ (ต่อ)

| Temp.<br>°C | Pressure<br>MPa | Density<br>kg/m <sup>3</sup> |        | Enthalpy<br>kJ/kg |       | Cv<br>kJ/kg.K |       | Cp<br>kJ/kg.K |       | Absolute Viscosity<br>MicroPa.s |       | Thermal Conductivity<br>W/m.K |       | Surface<br>N/m |       |
|-------------|-----------------|------------------------------|--------|-------------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------------------------|-------|-------------------------------|-------|----------------|-------|
|             |                 | Liquid                       | Vapor  | Liquid            | Vapor | Liquid        | Vapor | Liquid        | Vapor | Liquid                          | Vapor | Liquid                        | Vapor | Liquid         | Vapor |
| 1126.85     | 0               | 0                            | 0.2488 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.207 | 0                               | 53    | 0                             | 0.091 | 0              | 0     |
| 1226.85     | 0               | 0                            | 0.2322 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.23  | 0                               | 55.7  | 0                             | 0.1   | 0              | 0     |
| 1326.85     | 0               | 0                            | 0.2177 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.248 | 0                               | 58.4  | 0                             | 0.106 | 0              | 0     |
| 1426.85     | 0               | 0                            | 0.2049 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.267 | 0                               | 61.1  | 0                             | 0.113 | 0              | 0     |
| 1526.85     | 0               | 0                            | 0.1935 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.286 | 0                               | 63.7  | 0                             | 0.12  | 0              | 0     |
| 1626.85     | 0               | 0                            | 0.1833 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.307 | 0                               | 66.3  | 0                             | 0.128 | 0              | 0     |
| 1726.85     | 0               | 0                            | 0.1741 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.337 | 0                               | 68.9  | 0                             | 0.137 | 0              | 0     |
| 1826.85     | 0               | 0                            | 0.1658 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.372 | 0                               | 71.5  | 0                             | 0.147 | 0              | 0     |
| 1926.85     | 0               | 0                            | 0.1582 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.417 | 0                               | 74    | 0                             | 0.16  | 0              | 0     |
| 2026.85     | 0               | 0                            | 0.1513 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.478 | 0                               | 76.6  | 0                             | 0.175 | 0              | 0     |
| 2126.85     | 0               | 0                            | 0.1448 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.558 | 0                               | 79.2  | 0                             | 0.196 | 0              | 0     |
| 2226.85     | 0               | 0                            | 0.1389 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 1.665 | 0                               | 81.8  | 0                             | 0.222 | 0              | 0     |
| 2726.85     | 0               | 0                            | 0.1135 | 0                 | 0     | 0             | 0     | 0             | 2.726 | 0                               | 95.5  | 0                             | 0.486 | 0              | 0     |

ตาราง ข -3 คุณสมบัติของสารทำความเย็น R134a

| Temp.<br>°C | Pressure<br>MPa | Density<br>kg/m <sup>3</sup> |       | Enthalpy<br>kJ/kg |       | Cv<br>kJ/kg.K |        | Cp<br>kJ/kg.K |        | Absolute Viscosity<br>MicroPa.s |       | Thermal Conductivity<br>W/m.K |         | Surface<br>N/m |       |
|-------------|-----------------|------------------------------|-------|-------------------|-------|---------------|--------|---------------|--------|---------------------------------|-------|-------------------------------|---------|----------------|-------|
|             |                 | Liquid                       | Vapor | Liquid            | Vapor | Liquid        | Vapor  | Liquid        | Vapor  | Liquid                          | Vapor | Liquid                        | Vapor   | Liquid         | Vapor |
| -20         | 0.1327          | 1358                         | 6.784 | 7.826             | 220.7 | 0.8551        | 0.7046 | 1.293         | 0.8158 | 353                             | 9.925 | 0.1011                        | 0.00982 | 0.01451        |       |
| -18         | 0.1446          | 1352                         | 7.357 | 10.42             | 222   | 0.8574        | 0.7101 | 1.297         | 0.8232 | 343.5                           | 10.01 | 0.1001                        | 0.00998 | 0.01421        |       |
| -16         | 0.1573          | 1346                         | 7.967 | 13.02             | 223.2 | 0.8598        | 0.7155 | 1.302         | 0.8307 | 334.3                           | 10.09 | 0.09922                       | 0.01015 | 0.01391        |       |
| -14         | 0.1708          | 1340                         | 8.617 | 15.63             | 224.4 | 0.8621        | 0.7211 | 1.306         | 0.8385 | 325.4                           | 10.17 | 0.09831                       | 0.01032 | 0.01361        |       |
| -12         | 0.1852          | 1333                         | 9.307 | 18.26             | 225.6 | 0.8645        | 0.7266 | 1.311         | 0.8463 | 316.9                           | 10.25 | 0.0974                        | 0.01049 | 0.01332        |       |
| -10         | 0.2006          | 1327                         | 10.04 | 20.89             | 226.9 | 0.8669        | 0.7322 | 1.316         | 0.8544 | 308.6                           | 10.33 | 0.09649                       | 0.01066 | 0.01302        |       |
| -8          | 0.2169          | 1321                         | 10.82 | 23.53             | 228.1 | 0.8693        | 0.7379 | 1.32          | 0.8626 | 300.6                           | 10.41 | 0.09559                       | 0.01083 | 0.01272        |       |
| -6          | 0.2343          | 1314                         | 11.65 | 26.18             | 229.3 | 0.8717        | 0.7435 | 1.325         | 0.8709 | 292.9                           | 10.49 | 0.09469                       | 0.011   | 0.01243        |       |
| -4          | 0.2527          | 1308                         | 12.52 | 28.84             | 230.4 | 0.8742        | 0.7493 | 1.33          | 0.8795 | 285.4                           | 10.57 | 0.09379                       | 0.01117 | 0.01214        |       |
| -2          | 0.2722          | 1301                         | 13.45 | 31.51             | 231.6 | 0.8766        | 0.755  | 1.336         | 0.8883 | 278.1                           | 10.65 | 0.0929                        | 0.01134 | 0.01185        |       |
| 0           | 0.2928          | 1295                         | 14.43 | 34.19             | 232.8 | 0.8791        | 0.7608 | 1.341         | 0.8972 | 271.1                           | 10.73 | 0.09201                       | 0.01151 | 0.01156        |       |
| 2           | 0.3146          | 1288                         | 15.46 | 36.88             | 234   | 0.8816        | 0.7667 | 1.347         | 0.9064 | 264.3                           | 10.81 | 0.09112                       | 0.01169 | 0.01127        |       |
| 4           | 0.3377          | 1281                         | 16.56 | 39.59             | 235.1 | 0.8841        | 0.7725 | 1.352         | 0.9158 | 257.6                           | 10.9  | 0.09024                       | 0.01186 | 0.01099        |       |
| 6           | 0.362           | 1275                         | 17.72 | 42.3              | 236.3 | 0.8866        | 0.7785 | 1.358         | 0.9254 | 251.2                           | 10.98 | 0.08936                       | 0.01204 | 0.0107         |       |
| 8           | 0.3876          | 1268                         | 18.94 | 45.03             | 237.4 | 0.8892        | 0.7844 | 1.364         | 0.9353 | 244.9                           | 11.06 | 0.08849                       | 0.01222 | 0.01042        |       |
| 10          | 0.4146          | 1261                         | 20.23 | 47.77             | 238.5 | 0.8918        | 0.7904 | 1.37          | 0.9455 | 238.8                           | 11.15 | 0.08761                       | 0.0124  | 0.01014        |       |
| 12          | 0.443           | 1254                         | 21.58 | 50.52             | 239.6 | 0.8944        | 0.7965 | 1.377         | 0.9559 | 232.9                           | 11.23 | 0.08674                       | 0.01258 | 0.00986        |       |
| 14          | 0.4729          | 1247                         | 23.01 | 53.28             | 240.7 | 0.897         | 0.8025 | 1.383         | 0.9666 | 227.1                           | 11.32 | 0.08587                       | 0.01277 | 0.00958        |       |
| 16          | 0.5043          | 1240                         | 24.52 | 56.06             | 241.8 | 0.8996        | 0.8087 | 1.39          | 0.9776 | 221.5                           | 11.4  | 0.08501                       | 0.01295 | 0.0093         |       |
| 18          | 0.5372          | 1233                         | 26.11 | 58.85             | 242.9 | 0.9023        | 0.8148 | 1.397         | 0.989  | 216                             | 11.49 | 0.08414                       | 0.01314 | 0.00903        |       |
| 20          | 0.5717          | 1225                         | 27.78 | 61.66             | 243.9 | 0.905         | 0.821  | 1.405         | 1.001  | 210.7                           | 11.58 | 0.08328                       | 0.01333 | 0.00876        |       |
| 22          | 0.6079          | 1218                         | 29.54 | 64.48             | 245   | 0.9077        | 0.8273 | 1.413         | 1.013  | 205.5                           | 11.67 | 0.08242                       | 0.01353 | 0.00848        |       |

ตาราง ข-3 (ต่อ) คุณสมบัติของสารทำความเย็น R134a (ต่อ)

| Temp.<br>°C | Pressure<br>MPa | Density<br>kg/m <sup>3</sup> |       | Enthalpy<br>kJ/kg |       | Cv<br>kJ/kg.K |        | Cp<br>kJ/kg.K |       | Absolute Viscosity<br>MicroPa.s |       | Thermal Conductivity<br>W/m.K |         | Surface<br>N/m |
|-------------|-----------------|------------------------------|-------|-------------------|-------|---------------|--------|---------------|-------|---------------------------------|-------|-------------------------------|---------|----------------|
|             |                 | Liquid                       | Vapor | Liquid            | Vapor | Liquid        | Vapor  | Liquid        | Vapor | Liquid                          | Vapor | Liquid                        | Vapor   |                |
| 24          | 0.6458          | 1210                         | 31.39 | 67.31             | 246   | 0.9105        | 0.8336 | 1.421         | 1.025 | 200.4                           | 11.76 | 0.08156                       | 0.01372 | 0.00821        |
| 26          | 0.6854          | 1203                         | 33.34 | 70.16             | 247   | 0.9133        | 0.8399 | 1.429         | 1.038 | 195.4                           | 11.85 | 0.0807                        | 0.01392 | 0.00795        |
| 28          | 0.7269          | 1195                         | 35.38 | 73.03             | 248   | 0.9161        | 0.8463 | 1.437         | 1.052 | 190.5                           | 11.95 | 0.07984                       | 0.01413 | 0.00768        |
| 30          | 0.7702          | 1187                         | 37.54 | 75.91             | 249   | 0.9189        | 0.8527 | 1.446         | 1.065 | 185.8                           | 12.04 | 0.07899                       | 0.01433 | 0.00742        |
| 32          | 0.8154          | 1180                         | 39.8  | 78.81             | 250   | 0.9218        | 0.8592 | 1.456         | 1.08  | 181.1                           | 12.14 | 0.07813                       | 0.01454 | 0.00715        |
| 34          | 0.8626          | 1172                         | 42.18 | 81.73             | 250.9 | 0.9247        | 0.8658 | 1.466         | 1.095 | 176.6                           | 12.24 | 0.07727                       | 0.01476 | 0.00689        |
| 36          | 0.9118          | 1163                         | 44.68 | 84.67             | 251.8 | 0.9276        | 0.8724 | 1.476         | 1.111 | 172.1                           | 12.34 | 0.07642                       | 0.01498 | 0.00664        |
| 38          | 0.9632          | 1155                         | 47.32 | 87.62             | 252.7 | 0.9306        | 0.879  | 1.487         | 1.127 | 167.7                           | 12.44 | 0.07556                       | 0.01521 | 0.00638        |
| 40          | 1.017           | 1147                         | 50.09 | 90.6              | 253.6 | 0.9336        | 0.8858 | 1.498         | 1.145 | 163.4                           | 12.55 | 0.07471                       | 0.01544 | 0.00613        |
| 42          | 1.072           | 1138                         | 53    | 93.6              | 254.5 | 0.9367        | 0.8925 | 1.51          | 1.163 | 159.2                           | 12.65 | 0.07385                       | 0.01568 | 0.00588        |
| 44          | 1.13            | 1129                         | 56.06 | 96.61             | 255.3 | 0.9398        | 0.8994 | 1.523         | 1.182 | 155.1                           | 12.76 | 0.073                         | 0.01593 | 0.00563        |
| 46          | 1.19            | 1121                         | 59.29 | 99.66             | 256.1 | 0.943         | 0.9063 | 1.537         | 1.202 | 151                             | 12.88 | 0.07214                       | 0.01618 | 0.00538        |
| 48          | 1.253           | 1112                         | 62.69 | 102.7             | 256.9 | 0.9462        | 0.9134 | 1.551         | 1.223 | 147                             | 13    | 0.07128                       | 0.01645 | 0.00513        |
| 50          | 1.318           | 1102                         | 66.27 | 105.8             | 257.6 | 0.9494        | 0.9205 | 1.566         | 1.246 | 143.1                           | 13.12 | 0.07042                       | 0.01672 | 0.00489        |
| 52          | 1.385           | 1093                         | 70.05 | 108.9             | 258.3 | 0.9528        | 0.9277 | 1.582         | 1.27  | 139.2                           | 13.24 | 0.06956                       | 0.01701 | 0.00465        |
| 54          | 1.455           | 1083                         | 74.03 | 112.1             | 259   | 0.9562        | 0.935  | 1.6           | 1.296 | 135.4                           | 13.37 | 0.06869                       | 0.01731 | 0.00441        |
| 56          | 1.528           | 1073                         | 78.24 | 115.2             | 259.7 | 0.9596        | 0.9424 | 1.618         | 1.324 | 131.6                           | 13.51 | 0.06783                       | 0.01763 | 0.00418        |
| 58          | 1.604           | 1063                         | 82.68 | 118.5             | 260.3 | 0.9632        | 0.95   | 1.638         | 1.354 | 127.9                           | 13.65 | 0.06696                       | 0.01796 | 0.00395        |
| 60          | 1.682           | 1053                         | 87.38 | 121.7             | 260.8 | 0.9668        | 0.9577 | 1.66          | 1.387 | 124.2                           | 13.79 | 0.06609                       | 0.01831 | 0.00372        |
| 62          | 1.763           | 1042                         | 92.36 | 125               | 261.3 | 0.9706        | 0.9655 | 1.684         | 1.422 | 120.6                           | 13.95 | 0.06521                       | 0.01868 | 0.00349        |
| 64          | 1.847           | 1031                         | 97.64 | 128.3             | 261.8 | 0.9744        | 0.9735 | 1.71          | 1.461 | 117                             | 14.11 | 0.06433                       | 0.01907 | 0.00327        |
| 66          | 1.934           | 1020                         | 103.2 | 131.6             | 262.2 | 0.9784        | 0.9816 | 1.738         | 1.504 | 113.5                           | 14.28 | 0.06345                       | 0.0195  | 0.00305        |



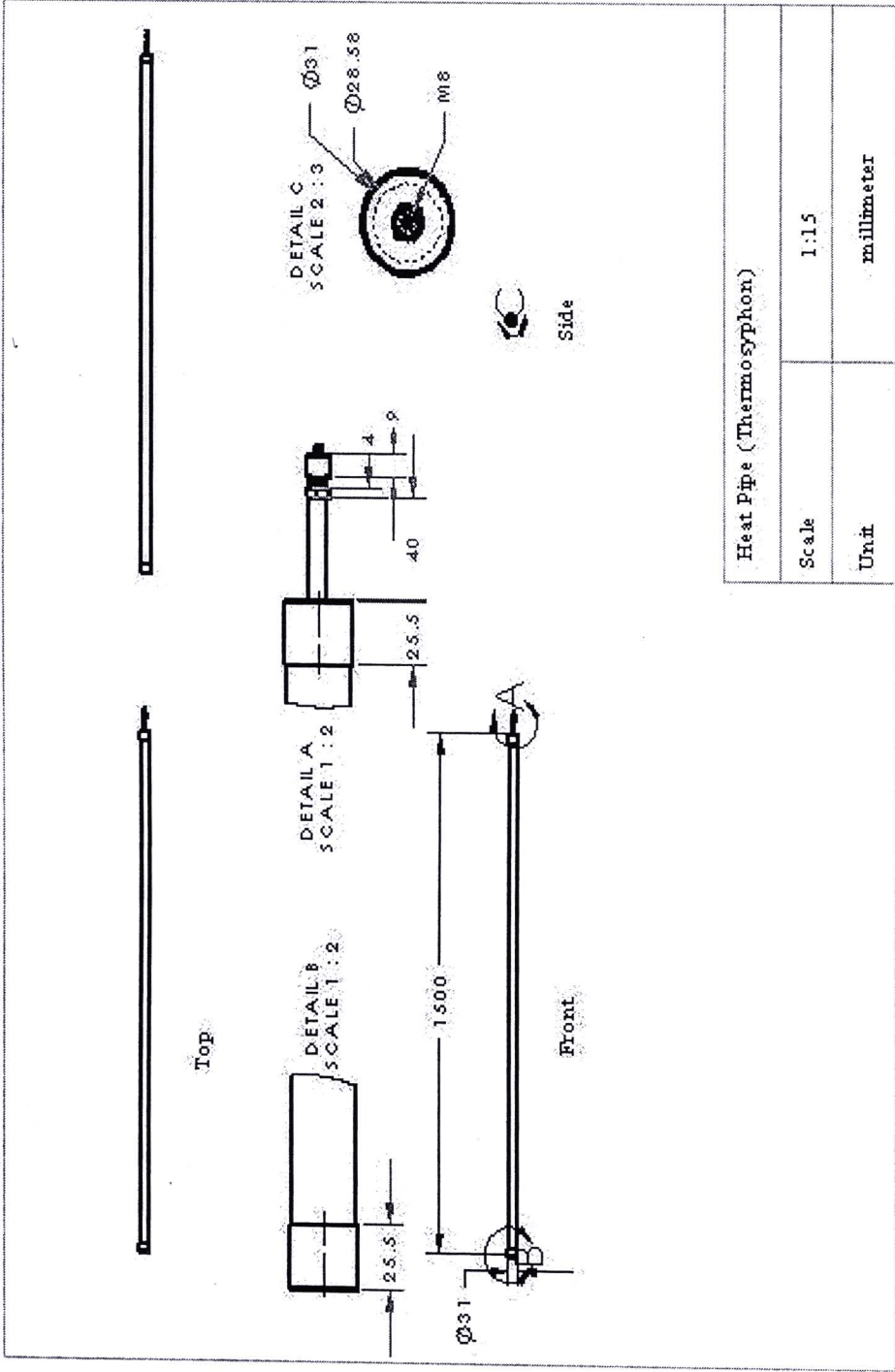
ตาราง ข -3 (ต่อ) คุณสมบัติของสารทำความเย็น R134a (ต่อ)

| Temp.<br>°C | Pressure<br>MPa | Density<br>kg/m <sup>3</sup> |       | Enthalpy<br>kJ/kg |       | Cv<br>kJ/kg.K |        | Cp<br>kJ/kg.K |       | Absolute Viscosity<br>MicroPa.s |       | Thermal Conductivity<br>W/m.K |         | Surface<br>N/m |       |
|-------------|-----------------|------------------------------|-------|-------------------|-------|---------------|--------|---------------|-------|---------------------------------|-------|-------------------------------|---------|----------------|-------|
|             |                 | Liquid                       | Vapor | Liquid            | Vapor | Liquid        | Vapor  | Liquid        | Vapor | Liquid                          | Vapor | Liquid                        | Vapor   | Liquid         | Vapor |
| 68          | 2.024           | 1008                         | 109.2 | 135               | 262.6 | 0.9826        | 0.99   | 1.769         | 1.552 | 109.9                           | 14.46 | 0.06256                       | 0.01995 | 0.00283        |       |
| 70          | 2.117           | 996.2                        | 115.6 | 138.5             | 262.8 | 0.9869        | 0.9986 | 1.804         | 1.605 | 106.4                           | 14.65 | 0.06167                       | 0.02045 | 0.00261        |       |
| 72          | 2.213           | 983.8                        | 122.4 | 142               | 263.1 | 0.9915        | 1.007  | 1.843         | 1.665 | 102.9                           | 14.85 | 0.06078                       | 0.02098 | 0.0024         |       |
| 74          | 2.313           | 970.8                        | 129.7 | 145.5             | 263.2 | 0.9963        | 1.017  | 1.887         | 1.734 | 99.45                           | 15.07 | 0.05988                       | 0.02156 | 0.0022         |       |
| 76          | 2.416           | 957.3                        | 137.5 | 149.1             | 263.2 | 1.001         | 1.026  | 1.938         | 1.812 | 95.98                           | 15.3  | 0.05898                       | 0.02221 | 0.00199        |       |
| 78          | 2.523           | 943.1                        | 145.9 | 152.8             | 263.2 | 1.007         | 1.036  | 1.996         | 1.904 | 92.51                           | 15.56 | 0.05807                       | 0.02292 | 0.0018         |       |
| 80          | 2.633           | 928.2                        | 155.1 | 156.6             | 263   | 1.013         | 1.046  | 2.065         | 2.012 | 89.02                           | 15.84 | 0.05717                       | 0.02372 | 0.0016         |       |
| 82          | 2.747           | 912.6                        | 165   | 160.4             | 262.7 | 1.02          | 1.057  | 2.147         | 2.143 | 85.51                           | 16.14 | 0.05626                       | 0.02462 | 0.00141        |       |
| 84          | 2.865           | 895.9                        | 176   | 164.4             | 262.2 | 1.027         | 1.068  | 2.247         | 2.303 | 81.96                           | 16.48 | 0.05536                       | 0.02565 | 0.00123        |       |
| 86          | 2.987           | 878.1                        | 188   | 168.5             | 261.6 | 1.035         | 1.08   | 2.373         | 2.504 | 78.36                           | 16.87 | 0.05448                       | 0.02684 | 0.00105        |       |
| 88          | 3.114           | 858.9                        | 201.5 | 172.7             | 260.7 | 1.045         | 1.093  | 2.536         | 2.766 | 74.67                           | 17.3  | 0.05363                       | 0.02823 | 0.00088        |       |
| 90          | 3.244           | 837.8                        | 216.8 | 177.1             | 259.6 | 1.056         | 1.107  | 2.756         | 3.121 | 70.86                           | 17.81 | 0.05284                       | 0.02991 | 0.00071        |       |
| 92          | 3.379           | 814.4                        | 234.3 | 181.8             | 258.1 | 1.069         | 1.122  | 3.072         | 3.63  | 66.88                           | 18.41 | 0.05217                       | 0.032   | 0.00055        |       |
| 94          | 3.519           | 787.8                        | 255.1 | 186.8             | 256.1 | 1.084         | 1.139  | 3.567         | 4.426 | 62.64                           | 19.16 | 0.05173                       | 0.0347  | 0.0004         |       |
| 96          | 3.664           | 756.1                        | 280.7 | 192.3             | 253.4 | 1.104         | 1.159  | 4.46          | 5.848 | 58                              | 20.14 | 0.05179                       | 0.03847 | 0.00027        |       |
| 98          | 3.815           | 715.5                        | 315.1 | 198.7             | 249.3 | 1.131         | 1.184  | 6.574         | 9.14  | 52.59                           | 21.54 | 0.05307                       | 0.04464 | 0.00014        |       |
| 100         | 3.972           | 651.2                        | 373   | 207.5             | 241.9 | 1.174         | 1.218  | 17.59         | 25.35 | 45.1                            | 24.21 | 0.05995                       | 0.06058 | 0.00004        |       |

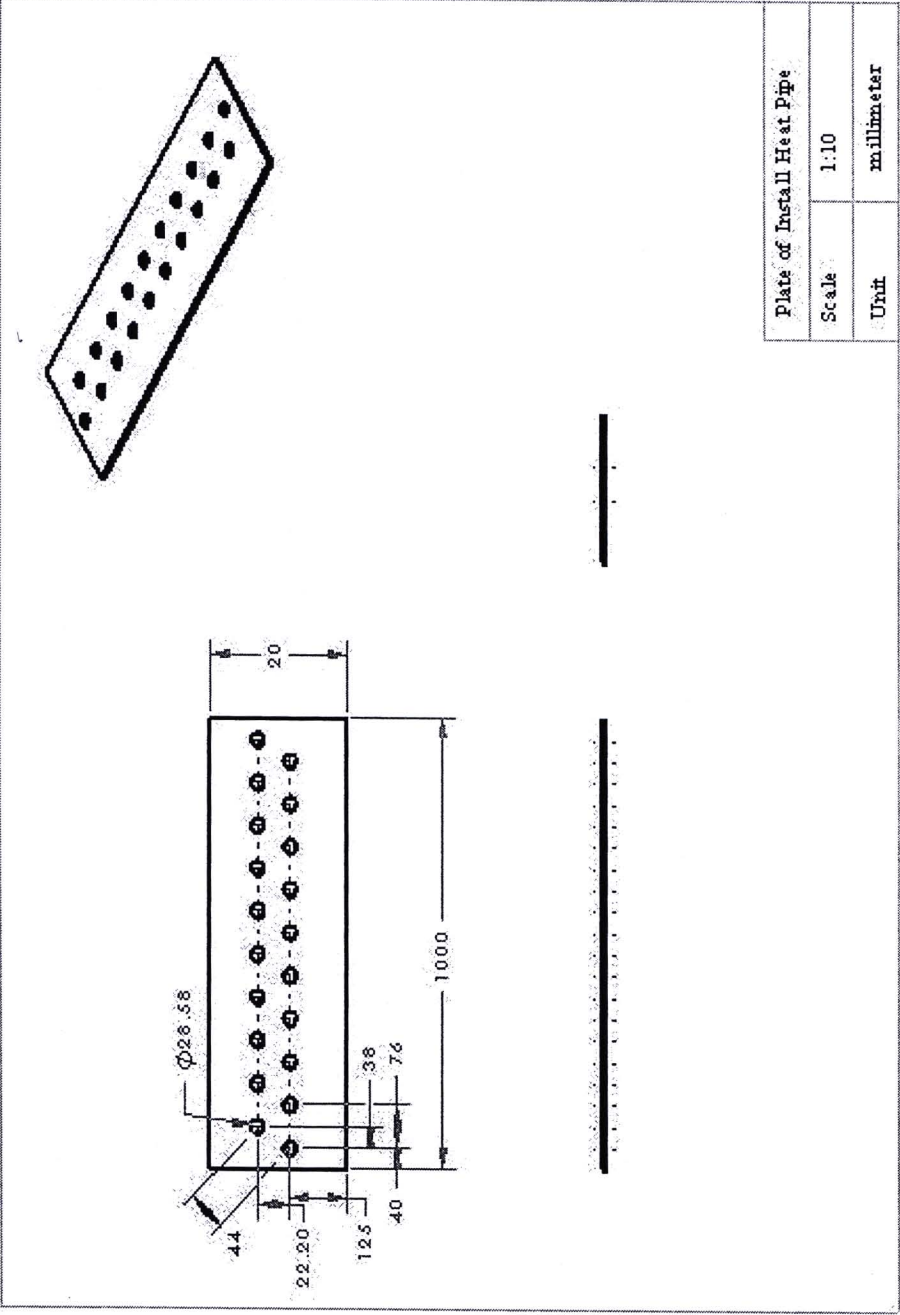
ภาคผนวก ค

รายละเอียดรูปร่างและขนาดของท่อความร้อนและชุดติดตั้ง

ค.1 ท่อความร้อน (เทอร์โมไซฟอน) และชุดติดตั้ง  
รูป ค.1 แสดงรายละเอียดรูปร่างและขนาดของท่อความร้อน

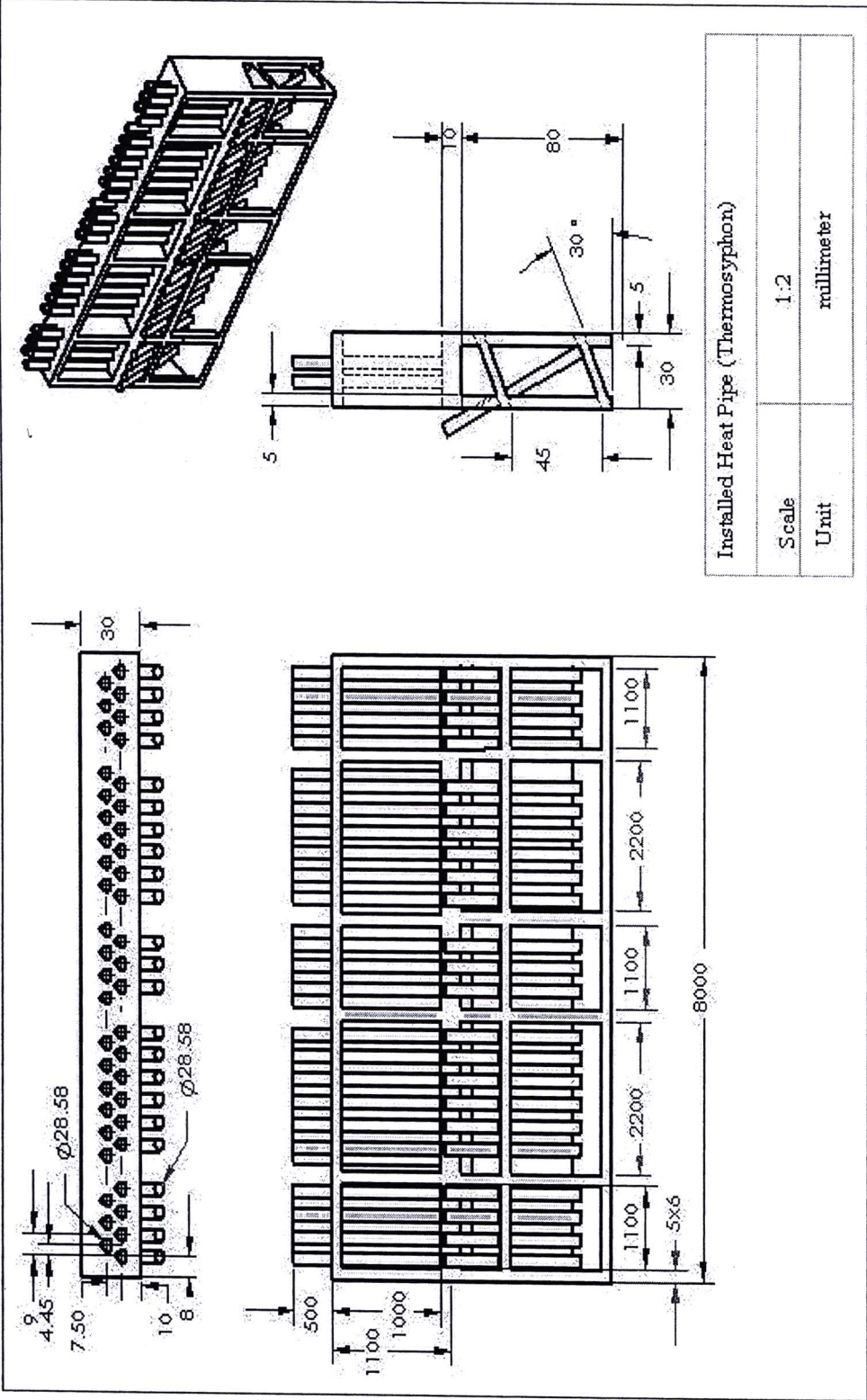


ค. 1 ท่อความร้อน (เทอร์โม ไซฟอน) และชุดติดตั้ง (ต่อ)  
รูป ค. 2 แสดงรายละเอียดของแผ่นประกอบท่อความร้อนที่ติดตั้งในตำแหน่งหน้าแผงทำความเย็นแบบระบายที่หน้าโรงงาน T2



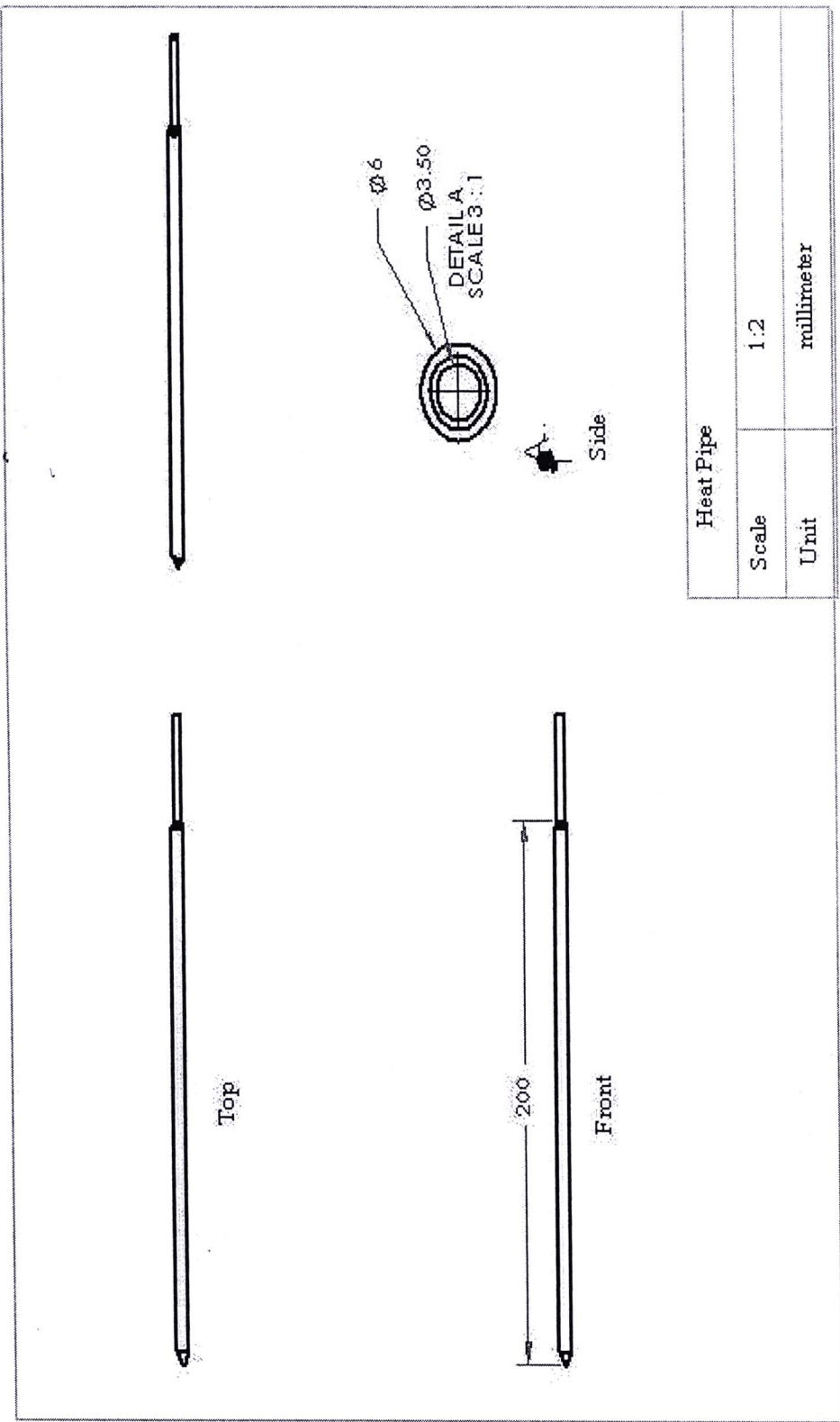


ก. 1 ท่อความร้อน (เทอร์โมไซฟอน) และชุดติดตั้ง (ต่อ)  
รูป ก. 3 แสดงรายละเอียดของท่อความร้อนที่ติดตั้งในตำแหน่งหน้าแผงความเย็นแบบระบายที่หน้าโรงงาน T2



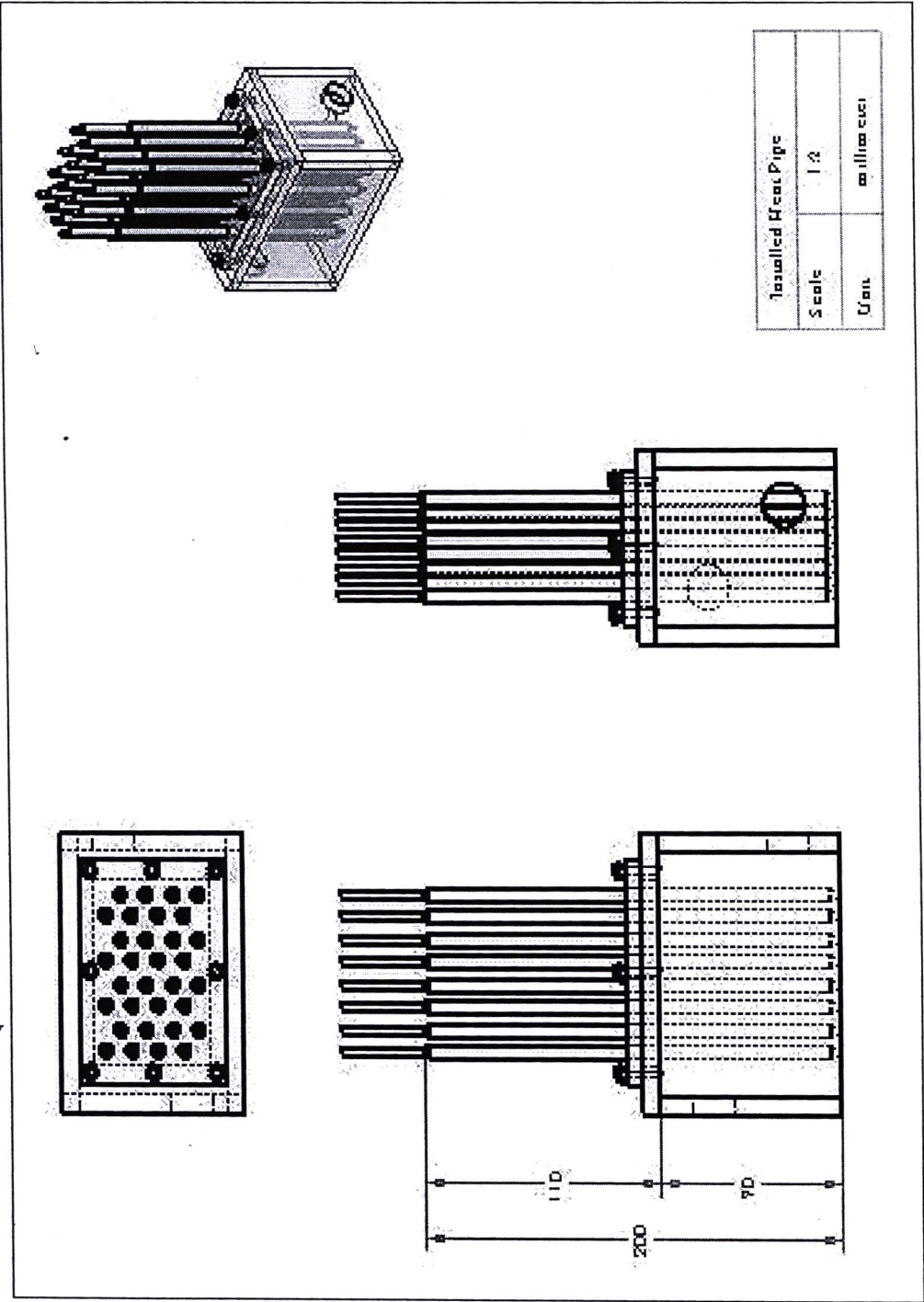
ค.2 ท่อความร้อนและชุดติดตั้ง

รูป ค. 4 แสดงรายละเอียดรูปร่างและขนาดของท่อความร้อน





ค. 2 ท่อความร้อนและชุดติดตั้ง (ต่อ)  
รูป ค. 6 แสดงรายละเอียดของชุดติดตั้งท่อความร้อนที่ติดตั้งท่อความร้อนที่ตำแหน่งก่อนปลูกรางเสาอาหารพืช



ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าการส่งถ่ายความร้อน

### ตัวอย่างการคำนวณ

#### (1) ตัวอย่างการคำนวณค่าการส่งถ่ายความร้อนที่สภาวะปกติ

เงื่อนไขสำหรับการออกแบบท่อความร้อน

1. ท่อความร้อนทำมาจากทองแดง
2. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและความหนาผนังท่อเท่ากับ 0.02858 ม. และ 0.00238 ม.
3. ท่อความร้อนมีความยาวเท่ากับ 1.5 ม. ประกอบด้วยส่วนทำระเหยอยู่ในช่วงเท่ากับ 0.5 ถึง 1.4 ม. โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 ม. และส่วนควบแน่นอยู่ในช่วงเท่ากับ 0.1 ถึง 1.0 ม. โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 ม.
4. สารทำงานคือ R134a สัดส่วนการเติมสาร 0.5
5. อุณหภูมิส่วนทำระเหย  $35^{\circ}\text{C}$
6. อุณหภูมิส่วนควบแน่น  $25^{\circ}\text{C}$
7. อุณหภูมิแตกต่างระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเท่ากับ  $10^{\circ}\text{C}$
8. มุมเอียงทำงานเท่ากับ 90 องศา
9. ค่าการนำความร้อนของท่อทองแดงเท่ากับ  $398 \text{ W/mK}$

(ก) คำนวณหาค่าพื้นที่ของท่อความร้อน

$$A = \frac{\pi D_o^2}{4} = \frac{\pi (23.82 \times 10^{-3})^2}{4} = 44.563 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_e = \pi D_o L_e = \pi (23.82 \times 10^{-3}) (0.5) = 44.89 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_c = \pi D_o L_c = \pi (23.82 \times 10^{-3}) (1.0) = 89.78 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$



(ข) คำนวณหาค่าความต้านทานทางความร้อน  $Z$

คำนวณหาค่าความต้านทานทางความร้อนระหว่างแหล่งให้ความร้อนกับผิวท่อด้านนอกของส่วนทำระเหย  $Z_1$

$$Z_1 = \frac{1}{h_e A_e} = \frac{1}{(140)(44.563 \times 10^{-3})} = 0.1591 \text{ K/W}$$

คำนวณหาค่าความต้านทานทางความร้อนระหว่างผิวท่อด้านนอกของส่วนควบแน่นกับแหล่งรับความร้อน  $Z_9$

$$Z_9 = \frac{1}{h_c A_c} = \frac{1}{(700)(89.78 \times 10^{-3})} = 0.0159 \text{ K/W}$$

คำนวณหาค่าความต้านทานทางความร้อนของผนังท่อด้านทำระเหย  $Z_2$

$$Z_2 = \frac{\ln(D_o / D_i)}{2\pi L_e k_{cu}} = \frac{\ln(28.58 / 23.82)}{2\pi(0.5)(398)} = 0.0001457 \text{ K/W}$$

คำนวณหาค่าความต้านทานทางความร้อนของผนังท่อด้านควบแน่น  $Z_8$

$$Z_8 = \frac{\ln(D_o / D_i)}{2\pi L_c k_{cu}} = \frac{\ln(28.58 / 23.82)}{2\pi(1.0)(398)} = 0.00007285 \text{ K/W}$$

ค่า  $Z_3$  และ  $Z_7$  มีค่าเป็นศูนย์

คำนวณหาค่าความต้านทานทางความร้อน  $Z$

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_7 + Z_8 + Z_9$$

$$= 0.1591 + 0.0159 + 0 + 0 + 0.0001457 + 0.00007285 = 0.17523 \text{ K/W}$$

(ค) คำนวณหาการถ่ายเทความร้อน  $Q$

$$Q = \frac{\Delta T}{Z} = \frac{(T_e - T_c)}{Z} = \frac{(35 - 25)}{0.17523} = 57.07 \text{ W}$$

(ง) คำนวณหาค่าอุณหภูมิไอ  $T_v$  เพื่อหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ของสารทำงาน

$$\begin{aligned} T_v &= T_c + \frac{(Z_7 + Z_8 + Z_9)}{Z(T_c - T_c)} \\ &= 25 + \frac{(0 + 0.0001457 + 0.00007285)}{0.17523(35 - 25)} \\ &= 25.21 \text{ } ^\circ\text{C}(298.21\text{K}) \end{aligned}$$

คุณสมบัติของสารทำงานที่  $25.21 \text{ } ^\circ\text{C}$  ( $298.21 \text{ K}$ )

$$h_{fg} = 176.92 \text{ kJ / kg}$$

$$C_{pl} = 1.4286 \text{ kJ / kg} \cdot \text{K}$$

$$\sigma_l = 0.00796 \text{ N / m}$$

$$\rho_l = 1203.3 \text{ kg / m}^3$$

$$\rho_v = 33.254 \text{ kg / m}^3$$

$$\mu_l = 195.62 \text{ } \mu\text{N} \cdot \text{s / m}^2$$

$$k_l = 0.08074 \text{ W / mK}$$

$$P = 0.68366 \text{ MPa}$$

คำนวณหาค่า  $\Phi_2$

$$\begin{aligned} \Phi_2 &= \left[ \frac{(h_{fg})(k_l^3)(\rho_l^2)}{\mu_l} \right]^{0.25} \\ &= \left[ \frac{(176.92 \times 10^3)(0.08074^3)(1203.3^2)}{195.62 \times 10^{-6}} \right]^{0.25} \\ &= 911.15 \end{aligned}$$



คำนวณหาค่า  $P_p$

$$\begin{aligned} P_p &= P + (\rho l)(FR)(g)(Le)(\sin \beta) \\ &= 0.68366 \times 10^6 + (1203.3)(0.5)(9.81)(0.5)(\sin 90) \\ &= 0.68661 \text{ MPa} \end{aligned}$$

คำนวณหาค่า  $\frac{dT}{dH}$

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dH} &= \left[ \frac{T_v + 273.15}{h_{fg}} \right] g \left[ \frac{\rho_l}{\rho_v} - 1 \right] \\ &= \left[ \frac{25.21 + 273.15}{176.92 \times 10^3} \right] 9.81 \left[ \frac{1203.3}{33.254} - 1 \right] \\ &= 0.5834 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}} \end{aligned}$$

คำนวณหาค่า  $T_p$

$$\begin{aligned} T_p &= T_v + \frac{dT}{dH} (Le)(FR) \\ &= 25.21 + 0.5834(0.5)(0.5) \\ &= 26.06 \text{ } ^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

(จ) คำนวณหาค่าความต้านทานทางความร้อนภายใน  $Z_3$  และ  $Z_7$

ค่าความต้านทานทางความร้อนภายในของการเดือด  $Z_3$  ซึ่งประกอบด้วย  $Z_{3p}$  และ  $Z_{3f}$

คำนวณหาค่า  $\Phi_3$

$$\begin{aligned} \Phi_3 &= \frac{0.32(\rho_l^{0.65})(k_l^{0.3})(C_{pl}^{0.7})}{(\rho_v^{0.25})(h_{fg}^{0.4})(\mu_l^{0.1})} \left( \frac{P}{P_{atm}} \right)^{0.23} \\ &= \frac{0.32(1203.3^{0.65})(0.0807^{0.3})(1428.6^{0.7})}{(33.254^{0.25})(176.92 \times 10^3)^{0.4}(1.9562 \times 10^{-4})^{0.1}} \left( \frac{683.66}{101.325} \right)^{0.23} \\ &= 29.51 \end{aligned}$$

$Z_{3p}$  คือ ความต้านทานของของเหลวที่เกิดจากแอ่งของเหลว คำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} Z_{3p} &= \frac{1}{(\Phi_3)(g^{0.2})(Q^{0.4})(\pi D_i L_e)^{0.6}} \\ &= \frac{1}{(29.51)(9.81^{0.2})(57.07^{0.4})(\pi \times 23.82 \times 10^{-3} \times 0.5)^{0.6}} \\ &= 0.03057 \text{ K/W} \end{aligned}$$

$Z_{3f}$  คือ ความต้านทานของของเหลวที่เกิดจากแผ่นฟิล์มของเหลวเหนือส่วนแอ่งของเหลว  
ในส่วนรับความร้อน

$$\begin{aligned} Z_{3f} &= 0.235 \frac{(Q^{\frac{1}{3}})}{(\Phi_2)^{\frac{4}{3}}(g^{\frac{1}{3}})(D_i)^{\frac{4}{3}}L_e} \\ &= 0.235 \frac{(57.07^{\frac{1}{3}})}{(911.15_2)^{\frac{4}{3}}(9.81^{\frac{1}{3}})(0.02382)^{\frac{4}{3}}(0.5)} \\ &= 0.013963 \text{ K/W} \end{aligned}$$

พิจารณา

$$\begin{aligned} \text{ถ้า} \quad Z_{3p} &< Z_{3f} \\ Z_3 &= Z_{3p} \end{aligned}$$

$$\text{นอกจากนี้} \quad Z_3 = (Z_{3p})(FR) + Z_{3f}(1 - FR)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} Z_3 &= (Z_{3p})(FR) + Z_{3f}(1 - FR) \\ &= (0.03057)(0.5) + (0.013963)(1 - 0.5) \\ &= 0.022267 \text{ K/W} \end{aligned}$$

$Z_7$  คือ ค่าความต้านทานทางความร้อนภายในของการควบแน่นของสารทำงานภายในท่อ

$$\begin{aligned} Z_7 &= 0.235 \frac{(Q^{\frac{1}{3}})}{(\Phi_2)^{\frac{4}{3}}(g^{\frac{1}{3}})(D_i)^{\frac{4}{3}}L_c} \\ &= 0.235 \frac{(57.07^{\frac{1}{3}})}{(911.15_2)^{\frac{4}{3}}(9.81^{\frac{1}{3}})(0.02382)^{\frac{4}{3}}(1.0)} \\ &= 0.006981 \text{ K/W} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ค่าความต้านทานทางความร้อน } Z &= Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_7 + Z_8 + Z_9 = 0.1591 + 0.0159 + \\ &0.022267 + 0.006981 + 0.0001457 + 0.00007285 = 0.20447 \text{ K/W} \end{aligned}$$

(จ) คำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อน  $Q_{new}$

$$Q_{new} = \frac{\Delta T}{Z} = \frac{(T_e - T_c)}{Z} = \frac{(35 - 25)}{0.20447} = 48.91 \text{ W}$$

พิจารณาความคลาดเคลื่อน  $error < 0.001$

$$error = |Q - Q_{new}| = |57.07 - 48.9| = 8.17$$

ค่าความคลาดเคลื่อนยังมีค่าเกินกว่าที่กำหนด ต้องคำนวณหาค่า  $Q$  ซ้ำอีก จนค่า  $Q$  ทั้งสองมีค่าเท่ากันคือเท่ากับ 30.83 W

## (2) ตัวอย่างการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ความร้อนของท่อความร้อน

การคำนวณหาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ความร้อนของท่อความร้อนนั้นสามารถทำได้โดยคำนวณค่ากำไรสุทธิสูงสุด ซึ่งคำนวณได้จากการประยุกต์ใช้สมการของ Soylemez et al. (2003) ดังนี้

$$S = C_E HQ - C_{HP}$$

เมื่อ

$S$  คือ มูลค่ากำไรสุทธิ (บาท)

$C_E$  คือ ราคาของพลังงานความร้อนที่สามารถถ่ายเทได้ (บาท/Wh)

$H$  คือ อายุการทำงานของท่อความร้อน (hr)

$Q$  คือ อัตราความร้อนที่สามารถถ่ายเทได้ (W)

$C_{HP}$  คือ ราคาชุดท่อความร้อน (บาท)

หรือ

$$S = \frac{(P_1)(Diesel)}{CE} (H)(Heat\_rate) - (1 - R_v(1+d)^{-Year})(Cu\_tube\_price)$$

เมื่อ

$$P_1 = \left( \frac{Year}{1+d} \right)$$

$$Cu\_tube\_price = (Cu\_price + weld\_Cu + Cap\_Cu + WF\_price)(tube)$$

เมื่อ

$$WF\_price = (R134a\_P)(\rho_{l,R134a})(FR)\left(\frac{\pi D_i^2}{4}\right)$$

|       |               |                                   |
|-------|---------------|-----------------------------------|
| เมื่อ | P1            | คือ ปี (year)                     |
|       | Diesel        | คือ น้ำมันดีเซล (Baht / liter)    |
|       | CE            | คือ ค่าการทำความร้อน (MJ / liter) |
|       | H             | คือ อายุการใช้งาน (hrs / year)    |
|       | Heatrate      | คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (Watt) |
|       | Rv            | คือ resale value (%)              |
|       | d             | คือ อัตราดอกเบี้ย (%)             |
|       | Year          | คือ ปี (year)                     |
|       | Cu_tube_price | คือ ราคาสร้างท่อความร้อน (Baht)   |
|       | Cu_price      | คือ ราคาท่อทองแดง (Baht)          |
|       | weld_Cu       | คือ ราคาเชื่อมท่อ (Baht)          |
|       | Cap_Cu        | คือ ราคาฝาปิดท่อ (Baht)           |
|       | WF_price      | คือ ราคาสารทำงาน (Baht / kg)      |
|       | tube          | คือ จำนวนท่อ (ท่อ)                |

โดยกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

$$\text{weld\_Cu} = 20 \text{ Baht}$$

$$\text{Cap\_Cu} = 100 \text{ Baht}$$

$$\text{WF\_Price} = \text{R134a\_P} * \text{density} [\text{Baht/m}^3]$$

$$\text{R134a\_P} = 300 \text{ Baht/kg}$$

$$\text{Density} = 1210 \text{ kg/m}^3$$

$$H = 365 \times 8 \times 60 \times 60$$

$$\text{DieselDen} = 0.84$$

$$CE = 38e6$$

$$\text{Diesel} = 30 \text{ Baht/Liter}$$

$$R_v = 0.05$$

$$P_1 = \text{Year}/(1+d)$$

$$\text{Year} = 5$$

$$d = \text{interest} = 0.03$$

คำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้

$$WF\_price = (300)(1210)(0.5)\left(\frac{\pi 0.02382^2}{4}\right) = 80.88$$

$$Cu\_tube\_price = ((1200 / 4) + 20 + 100 + 80.88)(1) = 500.88 \text{ Baht}$$

$$P_1 = \left(\frac{5}{1+0.03}\right) = 4.8544$$

$$Heat\_rate = \frac{\Delta T}{Z} = \frac{10}{0.32455} = 30.812 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{(4.8544)(30)}{38 \times 10^6} (365 \times 8 \times 60 \times 60)(30.812) - (1 - 0.05(1 + 0.03)^{-5})(500) \\ &= 1241.3 - 478.43 \\ &= 762.87 \text{ Baht} \end{aligned}$$

ได้มูลค่ากำไรสุทธิเท่ากับ 762.87 บาท

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ – สกุล

นายปรเมศวร์ สุทธิประภา

วัน เดือน ปี เกิด

17 สิงหาคม 2526

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย  
ร้อยเอ็ด ปีการศึกษา 2541

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย  
ร้อยเอ็ด ปีการศึกษา 2544

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
นครราชสีมา ปีการศึกษา 2549



