หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. ส่วนวิชาการ ธนาคารกสิกรไทย. "ใบยาสูบไทย: ปัญหาที่ยังไม่ได้แก้ไข." หนังสือพิมพ์มติชน (16 มกราคม 2523): 11.

2. Proceedings of the Solar Drying Workshop. Manila, Philippines, October 18 - 20, 1978.

3. รัตน์ ไชยแก้วเมย์. "การบ่มใบยาสูบประเภทบ่มไอร้อน." สถานีทดลองยาสูบแม่โจ้ เชียงใหม่, กันยายน 2521. (อัดสำเนา)

4. บุญฤทธิ์ สุจินดา. อดีตหัวหน้าแผนกเกษตรวิศวกรรม สถานีทดลองยาสูบแม่โจ้. สัมภาษณ์, มิถุนายน 2522 - เมษายน 2523.

5. จรัญ อจลภูติ. "เชื้อเพลิงธรรมชาติช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานของไทย." การประชุมสัมมนาเรื่อง บทบาทของธรณีวิทยาต่อการพัฒนาเหมืองแร่ อุตสาหกรรม พลังงาน และการเกษตร, วารสารสมาคมธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย ฉบับพิเศษ/2522.

6. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. "แหล่งผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย." กรุงเทพมหานคร: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, พฤศจิกายน 2521.

7. Porges, F. Handbook of Heating, Ventilating and Air Conditioning. 6th ed. Massachusetts: Newnes-Butterworths, 1971.

8. Exell, R.H.B. and Saricali, K. "Solar Radiation Tables for Thailand." Journal of Science Society of Thailand 1(1975): 185.

9. สุวัฒน์ ไทยนะ. "ตู้อบแห้งด้วยแสงอาทิตย์." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี, 2522.

10. Kesari, J.P. "The Performance of A Solar Rice Dryer." Master's thesis, Asian Institute of Technology, 1979.

11. Stocker, W.F. Design of Thermal Systems. New York: McGraw-Hill, 1971.

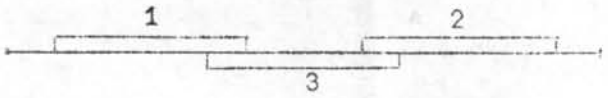
12. Palmer, H.B. and Beér, J.M. Combustion Technology: Some Modern Developments. New York: Academic Press, 1974.

ภาคผนวก ก.

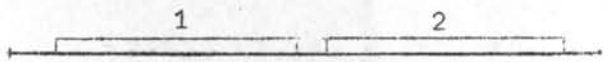
กระบวนการบ่มใบยาสูบประเภทบ่มไอร้อน[3]

การเสียบและการมัดใบยาสูบ

1. ใบยายนาดเล็กควรจะเสียบ โดยเอาหลังใบชนกันเป็นคู่ๆ แต่ละคู่ห่างกันประมาณ 1 เซ่นติเมตร ส่วนการมัดติดไม้ราว ควรจะมัด 3 เสียบ ดังนี้



2. ใบยาขนาดใหญ่ และใบยายาวหนากว่าธรรมดา ควรจะเสียบใบยาเรียงหนึ่งตลอดแต่ละใบ ควรห่างกันประมาณ 1 เซ่นติเมตร ส่วนการมัดนั้น ควรมัด 2 เสียบ ต่อ 1 ราว ดังนี้



การบรรจุโรงบ่ม

การนำใบยาสดเข้าโรง หรือการบรรจุโรงบ่ม เป็นวิธีการสำคัญประการหนึ่ง ซึ่งเกี่ยวพันกับการบ่ม และควรรักษาใบยาสดไม่ให้ช้ำ เพื่อการบ่มจะเป็นไปโดยปกติ ให้ได้ใบยาแห้งที่มีคุณภาพสูง และมีราคา วิธีการนำใบยาสดเข้าโรงบ่ม ควรจะใช้ล้อเข็นบรรทุกใบยาสด เป็นการทุ่นแรงและเวลา ส่วนการวางไม้ราวยานั้น ควรวางระยะเหมาะสม ห่างกันประมาณ 6 - 8 นิ้ว

เมื่อใบยาเต็มโรงแล้ว ต้องทำความสะอาดภายในโรงบ่ม ดูท่อบ่ม ประตูหน้าต่าง ช่องระบายอากาศล่างและบน ตรวจดูความชื้นภายในโรงบ่ม ถ้าไม่พอ ก็ควรเพิ่ม

วิธีการเดินปรอทบ่มใบยา

ระดับความร้อน 32 - 38 ซ ระยะนี้เป็นระยะทำชื้นและทำสีไปพร้อมกัน การทำชื้นนั้นคือทำให้ใบยาคืนตัวเต็มที่ เพื่อการทำสีจะได้สะดวก ประตูหน้าต่าง ช่องระบายทุกแห่ง ล่าง-บน ปิดให้สนิท ตลอดถึงรูและช่องโหว่ต่างๆ ใช้โคลนอุดให้หัว พักที่ 32 ซ ประมาณ 3 - 5 ชั่วโมง จึงผ่านไปพักที่ 34 ซ อีกประมาณ 5 - 7 ชั่วโมง และจากนั้นก็ผ่านไปพักที่ 36 ซ ประมาณ 7 - 8 ชั่วโมง ผ่านไปพักที่ 38 ซ อีกประมาณ 5 - 8 ชั่วโมง หากมีการใช้ไอน้ำช่วยทำชื้น ในระยะนี้หมอก ซึ่งได้จากไอน้ำร้อนผ่านเครื่องพ่นเข้าไปในโรงบ่ม จะมีความร้อนอยู่ประมาณ 36 - 38 ซ

หรือ บางครั้งอาจถึง 40 -43 ซ จะทำให้อุณหภูมิภายในโรงบ่มเปลี่ยนจาก 32 ซ เป็น 38 ซ หรือ 40 - 43 ซ ตลอดเวลาที่ทำสี ถ้าความชื้นคงอยู่ในระหว่าง 85 - 95 % จะไม่ทำอันตรายแก่ใบยาประการใด อย่างไรก็ดีการใช้ได้น้ำช่วยนี้ ประมาณ 18 - 20 ชั่วโมง อย่างมากไม่เกิน 24 ชั่วโมง หากใบยาเหลืองได้ที่แล้ว ให้ผ่านไปได้โดยเปิดช่องระบายบนและล่างตามสัดส่วน บนประมาณ 3" ล่างประมาณ 2" หรือ บน 6" ล่าง 4" อย่างนี้เป็นต้น จงสังเกตดู เมื่อหยุดใช้ไอน้ำแล้ว แต่ใบยายังมีสีเขียวติดอยู่เป็นส่วนมาก ให้พักที่ 38 - 40 ซ ไปจนกว่าใบยาจะเหลืองเป็นที่พอใจ คือเหลืองประมาณ 3 ใน 4 ของใบยาสูบ โดยทั่วไป

ระดับความร้อน 41 - 43 ซ ระยะนี้เป็นระยะพักช้อมทำสีที่ค้างมาจากระยะ 38 ซ ตรงโคน ตรงหู และตรงกลางแถบเส้นเอ็นของใบ ยังจะมีสีเขียวติดอยู่บ้าง ถ้าหากผ่านเร็วเกินไป จะทำให้ใบยาติดเขียว ชั่วโมงแรกของ 41 ซ ถ้ายังไม่ได้เปิดช่องระบายล่าง เมื่อชั่วโมงสุดท้ายของ 38 ซ ก็ให้เปิดได้ทันที เพราะมีบางครั้ง มักจะมีความจำเป็นเปิดช่องระบายล่างและบนพร้อมกัน ในกรณีที่ใบยาเหลืองได้เร็วเกินความคาดหมาย อย่างไรก็ดี จงสนใจให้มากในตอนนี้ เพราะเป็นหัวต่อตอนสำคัญของการบ่มใบยา ถ้าใบยายังติดเขียวอยู่ จงระบายทีละน้อยๆ หากใบยาเหลืองเกือบหมด ให้รีบระบายความชื้นออกให้มากที่สุดที่จะมากได้ พักที่ 41 ซ ประมาณ 3 - 5 ชั่วโมง แล้วแต่กรณี จึงผ่านไปพักที่ 43 ซ พอสมควร ประมาณ 3 - 5 ชั่วโมง จะเห็นว่าใบยาในโรงเหลืองสนิท ระยะ 43 ซ นี้ ช่องระบายควรจะเปิดหมดทั้งบนและล่าง เพื่อไล่ความชื้นออกจากโรงให้หมด ใบยาจะได้ไม่เหี่ยว ความจริงปลายของใบยาจะต้องเริ่มแสดงอาการเหี่ยว เมื่อเริ่มเปิดช่องระบายล่าง ขณะที่เพิ่มอุณหภูมิจาก 38 ซ เป็นต้นมา ในระยะ 43 ซ จงสังเกตดูใบยาส่วนล่างของโรงจะเริ่มแห้ง ปลายใบงอ ข้างๆใบจะห่อตัว และใบยาจะทอดตัวอย่างเห็นได้ชัด จึงค่อยเดินปรอทผ่านไปชั่วโมงละ 2 ซ จนถึง 51 - 53 ซ

ระดับความร้อน 51 - 53 ซ หากเป็นใบยาที่หนา-กลาง-ยอด ซึ่งมีสีเขียวติดมาบ้าง เนื่องจากไม่สามารถทำให้เหลืองได้ในระยะ 41 - 43 ซ การพักรออยู่ตอนนี้จนกว่าสีเขียวจะหมดไป เมื่อผ่านจากระยะนี้ไปแล้ว จะไม่มีโอกาสทำให้เหลืองได้อีกต่อไป ถึงจะมีโอกาสทำได้ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพราะเซลล์ต่างๆ ของใบยาจะตาย และสุดสิ้นกันเพียงระยะนี้ ต่อไปเป็นเรื่องของการทำให้แห้งเท่านั้น จากนี้จึงผ่านไปชั่วโมงละ 2 ซ จนถึง 61 - 63 ซ เพื่อเตรียมทำแห้งต่อไป

ระดับความร้อน 61 - 63 ซ เป็นระยะที่เหมาะที่สุดที่ทำให้ใบแห้ง พักอยู่ในระยะนี้จน

ใบยาแห้งทั้งโรง คือแห้งจนถึงหูยองใบยา เวลามากน้อยแล้วแต่กรณี เมื่อตรวจดูเห็นว่าแห้งสนิทดีแล้ว ให้เริ่มปิดช่องระบายอากาศล่างก่อนหนึ่งชั่วโมง มีบางครั้งถ้าใบยาแห้งสนิทจริงๆ ก็ปิดพร้อมกันครึ่งหนึ่งของที่เปิดไว้ ช่องระบายจะปิดหมดเมื่ออุณหภูมิอยู่ในระดับความร้อน 71 ซ ให้เข้าใจว่าในตอนนี้ก้านยองใบยายังไม่แห้ง ซึ่งจะต้องไปทำให้แห้งเมื่ออุณหภูมิที่ 75 - 80 ซ

ระดับความร้อน 75 - 80 ซ เป็นระยะที่ทำให้ก้านแห้ง เมื่อช่องระบายถูกปิดหมด เชื้อเพลิงจะลดลง อุณหภูมิจะคงที่ระดับเดิม พักไปจนกว่าก้านแห้งทั้งหมด จะรู้ว่าก้านแห้งหมดหรือยัง ให้ตรวจดูตรงประตูด้านหน้า ด้านหลัง ตรงหน้าต่าง และที่มุมของโรงบ่มทั้งสี่มุม แต่โดยปกติด้านหลังโรงจะแห้งช้ากว่าด้านหน้าโรง เมื่อเห็นว่าแห้งสนิทจึงหยุด ไปเตรียมทำความชื้นต่อไป

การทำความชื้นจะโดยวิธีใดก็ตาม ควรเปิดโรงให้ความร้อนลดลงจนอุณหภูมิในโรงลดลงเหลือในระดับที่ 38 - 40 ซ จึงจะทำความชื้นได้ มิฉะนั้นใบยาจะแดง แล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งโรง การทำความชื้นถ้าไม่มีเครื่องทำหมอก จะใช้น้ำพ่นข้างฝาผนังตอนล่างให้ทั่ว ปิดทิ้งไว้จนใบยาอ่อนตัว เริ่มเอาออกจากโรงบ่มไปเก็บในโรงเก็บได้ทันที อย่าให้ชื้นมาก การติดไฟครั้งที่สองนั้นไม่ควรทำเป็นอย่างยิ่ง เพราะจะทำให้ใบยาเปลี่ยนสีจากเหลืองเป็นสีส้ม แล้วก็แดง และเป็นสีน้ำตาลที่สุด

ตัวอย่างบันทึกการบ่มใบยาโคนต้น

ของโรงบ่มขนาด 6 x 6 x 6 เมตร^3 บ่มครั้งที่.....เก็บครั้งที่.....

วันที่	เวลา	ชั่วโมง	อุณหภูมิตามคำสั่ง	อุณหภูมิที่เป็นจริง	คำสั่ง
15 มีค.	07-10	3	32 ซ		ปิดล่าง-บนหมด รักษาความชื้น
	10-12	2	34		ให้ได้ 85-90 %
	12-14	2	36		
	14-19	5	38	(ระยะทำสี)	
	19-21	2	41		19 น. เปิดบนครึ่งหนึ่ง
16 มีค.	21-07	10	43		20 น. เปิดล่าง 3"
	07-08	1	45		21 น. เปิดล่างเป็น 4-5"
	08-09	1	47		
	09-10	1	49	(ระยะตรึงสี)	
	10-11	1	51		
	11-14	3	53		
	14-15	1	55		
	15-16	1	57		
	16-17	1	59	(ระยะทำใบแห้ง)	
17 มีค.	17-03	10	61		
	03-06	3	63		
	06-07	1	65		06 น. ปิดล่างหมด
	07-08	1	67		
	08-09	1	69		08 น. ปิดบนหมด
	09-10	1	71	(ระยะทำก้านแห้ง)	
	10-11	1	73		
	11-23	12	75		

ใช้เวลาบ่ม 64 ชั่วโมง เชื้อเพลิง.....

น้ำหนักใบยาสด ประมาณ 2500 - 3000 กิโลกรัม

ตัวอย่างบันทึกการบ่มใบยากลางต้น

ของโรงบ่มขนาด 6 x 6 x 6 เมตร^3 บ่มครั้งที่.....เก็บครั้งที่.....

วันที่	เวลา	ชั่วโมง	อุณหภูมิตามคำสั่ง	อุณหภูมิที่เป็นจริง	คำสั่ง
21 มีค.	07-12	5	32 ซ		ปิดล่าง-บนหมด รักษาความชื้น
	12-19	7	34		ให้ได้ 85-90 %
22 มีค.	19-02	7	36		
	02-12	10	38	(ระยะทำสี)	12 น. เปิดบนครึ่งหนึ่ง
	12-17	5	41		เปิดล่าง 2"
	17-24	7	43		17 น. เปิดล่าง-บนหมด
23 มีค.	00-01	1	45		
	01-02	1	47		
	02-03	1	49	(ระยะตรึงสี)	
	03-04	1	51		
	04-06	2	53		
	06-07	1	55		
	07-08	1	57		
	08-09	1	59	(ระยะทำใบแห้ง)	
	09-10	1	61		
	10-23	13	63		
	23-24	1	65		23 น. ปิดล่างครึ่งหนึ่ง
24 มีค.	00-01	1	67		24 น. ปิดบนครึ่งหนึ่ง
	01-02	1	69		
	02-03	1	71	(ระยะทำก้านแห้ง)	02 น. ปิดล่างหมด
	03-04	1	73		03 น. ปิดบนหมด
	04-16	12	75		

ใช้เวลาบ่ม 81 ชั่วโมง เชื้อเพลิง.....

น้ำหนักใบยาสดประมาณ 2500 - 3000 กิโลกรัม

ตัวอย่างบันทึกการบ่มใบยายอด

ของโรงบ่มขนาด 6 x 6 x 6 เมตร^3 บ่มครั้งที่.....เก็บครั้งที่.....

วันที่	เวลา	ชั่วโมง	อุณหภูมิตามคำสั่ง	อุณหภูมิที่เป็นจริง	คำสั่ง
5 เมย.	17-22	5	32 ๐		ปิดล่าง-บนหมด รักษา
6 เมย.	22-05	7	34		ความชื้นให้ได้ 85-90 %
	05-12	7	36		
	12-20	8	38	(ระยะทำสี)	19 น. เปิดบนครึ่งหนึ่ง
7 เมย.	20-04	8	41		20 น. เปิดล่าง 3"
	04-08	4	43		08 น. เปิดบน-ล่างหมด
	08-09	1	45		
	09-10	1	47		
	10-11	1	49	(ระยะตรึงสี)	
	11-12	1	51		
	12-18	6	53		
	18-19	1	55		
	19-20	1	57		
	20-21	1	59	(ระยะทำใบแห้ง)	
	21-22	1	61		
8 เมย.	22-03	5	63		
	03-04	1	65		03 น. ปิดล่างครึ่งหนึ่ง
	04-05	1	67		04 น. ปิดบนครึ่งหนึ่ง
	05-06	1	69		
	06-07	1	71	(ระยะทำก้านแห้ง)	
	07-08	1	73		07 น. ปิดล่าง-บนหมด
	08-23	15	75		

ใช้เวลาบ่ม 78 ชั่วโมง เชื้อเพลิง.....

น้ำหนักใบยาสดประมาณ 2500 - 3000 กิโลกรัม

ตัวอย่างบันทึกการบ่มใบยาเหลือง

ของโรงบ่มขนาด 6 x 6 x 6 เมตร^3 บ่มครั้งที่.....เก็บครั้งที่.....

วันที่	เวลา	ชั่วโมง	อุณหภูมิตามคำสั่ง	อุณหภูมิที่เป็นจริง	คำสั่ง
1 เมย.	18-19	1	32 ซ		เปิดล่าง-บนให้หมด
	19-20	1	34		
	20-21	1	36		
	21-23	2	38		
2 เมย.	23-01	2	41		
	01-03	2	43		
	03-05	2	45	(ไม่ต้องรอทำสี	
	05-07	2	47	ผ่านได้ตลอด)	
	07-09	2	49		
	09-11	2	51*		* ถ้าใบยาไม่เหี่ยว ควรพัก
	11-13	2	53*		อยู่ในระดับนี้จนใบยาเหี่ยว
	13-15	2	55*		จึงค่อยผ่านไปยังระดับที่
	15-17	2	57		61-63 ซ
	17-19	2	59		
3 เมย.	19-07	12	61-63		
	07-08	1	65		07 น. ปิดล่างครึ่งหนึ่ง
	08-09	1	67		
	09-10	1	69		09 น. ปิดบนครึ่งหนึ่ง
	10-11	1	71	(ระยะทำก้านแห้ง)	
	11-12	1	73		11 น. ปิดล่าง-บนหมด
4 เมย.	12-08	20	75		

ใช้เวลาบ่ม 62 ชั่วโมง เชื้อเพลิง.....

น้ำหนักใบยาสดประมาณ 2500 - 3000 กิโลกรัม

ภาคผนวก ข.

การคำนวณและตัวอย่างการคำนวณ

<u>พลังงานความร้อนที่ได้จากแผงรับ</u> คำนวณได้จาก

$$Q_u = A_c G c_p (t_o - t_i) \qquad (1)$$

เมื่อ A_c = พื้นที่ของแผงรับ

G = อัตราไหลของอากาศ ต่อพื้นที่ของแผงรับ

c_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศ

t_o = อุณหภูมิอากาศออก

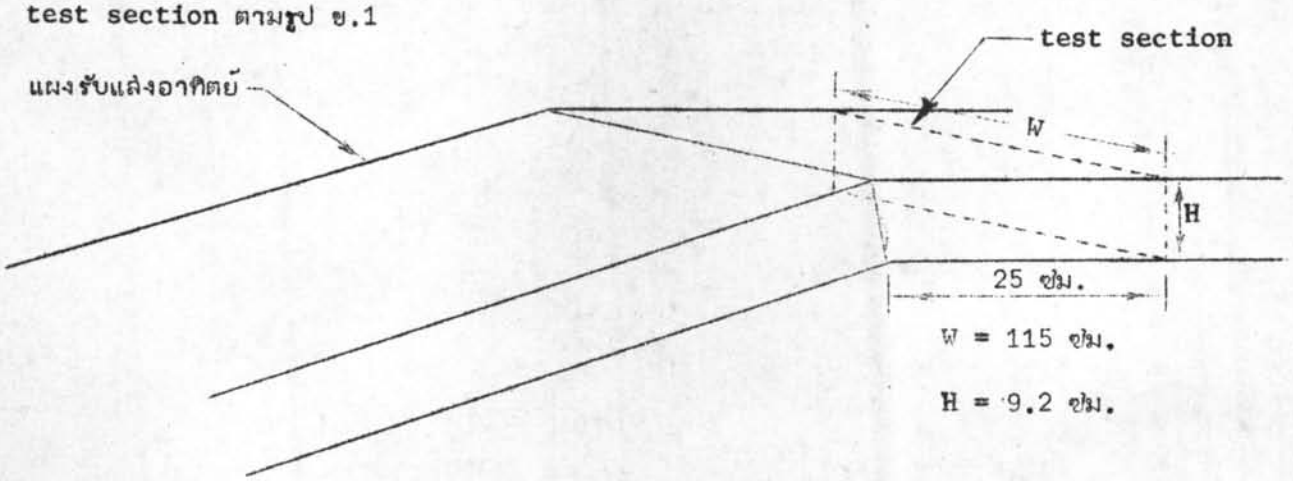
t_i = อุณหภูมิอากาศเข้า

<u>ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงรับ</u> หาได้ดังนี้

$$\eta_{th} = Q_u / A_c I \qquad (2)$$

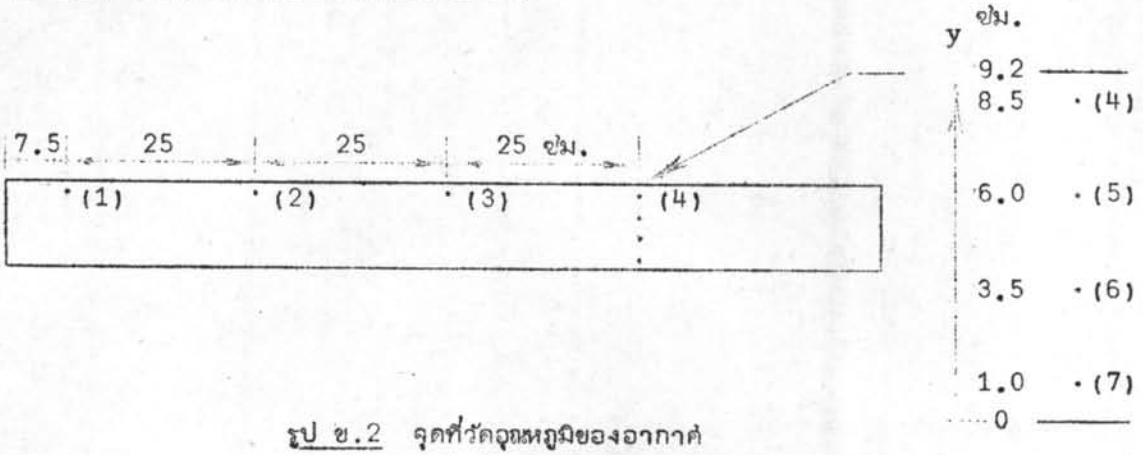
เมื่อ I = ปริมาณความเข้มข้นพลังงานแล่งอาทิตย์ ซึ่งวัดได้บนแนวพื้นผิวของแผงรับ

<u>Test section ของแผงรับ</u> เพื่อใช้ในการหาปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้จากแผงรับ จึงกำหนด test section ตามรูป ข.1



<u>รูป ข.1</u> test section

การวัดอุณหภูมิของอากาศที่ test section



รูป ข.2 จุดที่วัดอุณหภูมิของอากาศ

จุดที่วัดอุณหภูมิของอากาศที่ได้จากแผงรับมี 7 จุด อยู่ในแนวระดับเดียวกัน 4 จุด และอยู่ในแนวดิ่งเดียวกัน 4 จุด ดังรูป ข.2

จากนั้น นำค่าที่ได้ไปเฉลี่ย ตามแนวระดับ คือ

$$t_{4'} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{4}$$

และปรับค่า t_5 ถึง t_7 เป็น

$$t_{5'} = t_5 \times \frac{t_{4'}}{t_4}$$

$$t_{6'} = t_6 \times \frac{t_{4'}}{t_4}$$

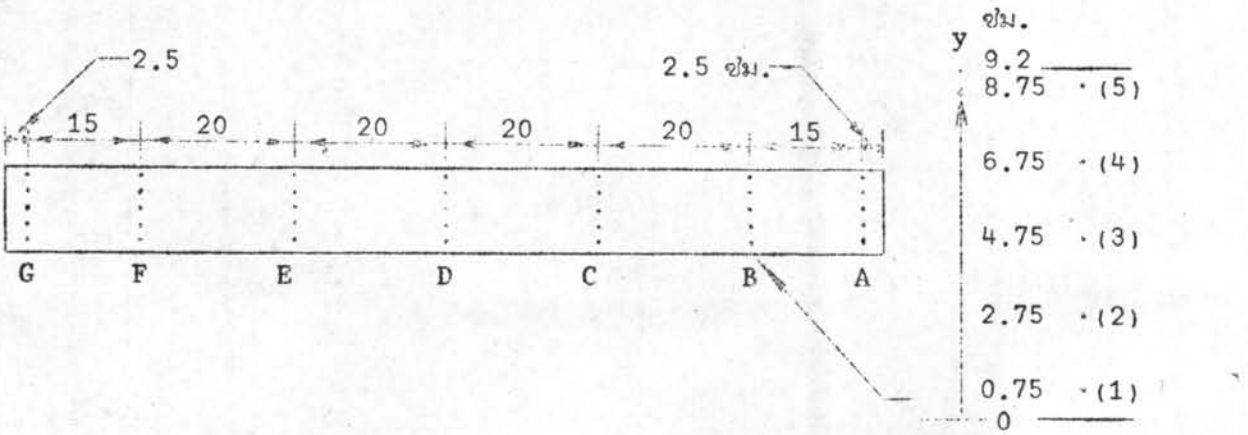
$$t_{7'} = t_7 \times \frac{t_{4'}}{t_4}$$

และนำค่า $t_{4'}$ ถึง $t_{7'}$ ไปเข้าสมการ ($t = t(y)$)

$$t_o = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 y^3 \qquad (3)$$

เพื่อหา temperature profile ในแนวดิ่ง

การวัดความเร็วของอากาศที่ test section



รูป ข.3 จุดที่วัดความเร็วของอากาศ

จุดที่วัดความเร็วของอากาศที่ออกจากแผงรับมี 35 จุด แบ่งเป็นแถวตั้ง (column) 7 แถวๆ ละ 5 จุด ตามรูป ข.3

จากนั้นนำค่าที่ได้ 35 จุด ไปเฉลี่ยตามแนวระดับและคูณด้วย correction factor เช่น

$$v_{(1)} = f \times \frac{0.375v_{A(1)} + v_{B(1)} + v_{C(1)} + v_{D(1)} + v_{E(1)} + v_{F(1)} + 0.375v_{G(1)}}{5.75}$$

$$v_{(2)} = f \times \frac{0.375v_{A(2)} + v_{B(2)} + v_{C(2)} + v_{D(2)} + v_{E(2)} + v_{F(2)} + 0.375v_{G(2)}}{5.75}$$

เป็นต้น

เมื่อ f = instrumental correction factor

เมื่อได้ $v_{(1)}$ ถึง $v_{(5)}$ ในแต่ละช่วงเวลาแล้ว นำไปเข้าสมการ (v = v(y))

$$v = a_4y + a_5y^2 + a_6y^3 + a_7y^4 + a_8y^5 + a_9y^6 \qquad (4)$$

โดยกำหนด v ที่ความสูงใน test section ที่ 0 และ 9.2 เซนติเมตร เป็น ศูนย์ เพื่อหา velocity profile ในแนวตั้ง

อนึ่งเวลาที่ใช้ในการอ่านความเร็วของอากาศ 35 จุดนี้ ใช้เวลาถึง 10 - 15 นาที

การคำนวณพลังงานความร้อนที่ได้จากแผงรับ

จาก $Q_u = A_c G c_p (t_o - t_i)$ (1)

หรือ $Q_u = m\, c_p (t_o - t_i)$ (5)

เมื่อ m = อัตราไหลของอากาศ

แต่ $m = \rho v A_s$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอากาศ

v = ความเร็วของอากาศ

A_s = พื้นที่ของ test section

ดังนั้น $Q_u = \rho v A_s c_p (t_o - t_i)$

ทั้งนี้ ให้ $t_i = t_a$ = อุณหภูมิอากาศภายนอก

W = ความกว้างของ test section

H = ความสูงของ test section

ดังนั้น $$Q_u = \int_0^H \rho v W c_p (t_o - t_a)\,dy$$

$$= \rho c_p W \int_0^H (t_o - t_a) v\,dy$$

$$= \rho c_p W \int_0^H (a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 y^3 - t_a)(a_4 y + a_5 y^2 + a_6 y^3 + a_7 y^4 + a_8 y^5 + a_9 y^6)\,dy \quad (6)$$

ให้ $a_{0'} = a_0 - t_a$

ดังนั้น $$Q_u = \rho c_p W \int_0^H (a_{0'} + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 y^3)(a_4 y + a_5 y^2 + a_6 y^3 + a_7 y^4 + a_8 y^5 + a_9 y^6)\,dy$$

$$= \rho c_p W \int_0^H \{(a_{0'} a_4) y + (a_{0'} a_5 + a_1 a_4) y^2 + (a_{0'} a_6 + a_1 a_5 + a_2 a_4) y^3$$

$$+ (a_0 a_7 + a_1 a_6 + a_2 a_5 + a_3 a_4) y^4$$

$$+ (a_0 a_8 + a_1 a_7 + a_2 a_6 + a_3 a_5) y^5$$

$$+ (a_0 a_9 + a_1 a_8 + a_2 a_7 + a_3 a_6) y^6$$

$$+ (a_1 a_9 + a_2 a_8 + a_3 a_7) y^7$$

$$+ (a_2 a_9 + a_3 a_8) y^8 + (a_3 a_9) y^9 \} dy$$

$$Q_u = \rho c_p W \{ (a_0 a_4) \frac{y^2}{2} + (a_0 a_5 + a_1 a_4) \frac{y^3}{3}$$

$$+ (a_0 a_6 + a_1 a_5 + a_2 a_4) \frac{y^4}{4}$$

$$+ (a_0 a_7 + a_1 a_6 + a_2 a_5 + a_3 a_4) \frac{y^5}{5}$$

$$+ (a_0 a_8 + a_1 a_7 + a_2 a_6 + a_3 a_5) \frac{y^6}{6}$$

$$+ (a_0 a_9 + a_1 a_8 + a_2 a_7 + a_3 a_6) \frac{y^7}{7}$$

$$+ (a_1 a_9 + a_2 a_8 + a_3 a_7) \frac{y^8}{8}$$

$$+ (a_2 a_9 + a_3 a_8) \frac{y^9}{9} + (a_3 a_9) \frac{y^{10}}{10} \Big\}_0^H \qquad (7)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากข้อมูลการทดลองวันที่ 20 เมษายน 2523 เวลา 12.00 น.

t_1= 55.9, t_2= 56.1, t_3= 61.9, t_4= 56.3, t_5= 56.4, t_6= 63.0, t_7= 62.2 ซ

t_a= 36.0 ซ, RH = 51.0 %

$v_{A(1)}$ ถึง $v_{A(5)}$ = 1.40, 0.57, 0.60, 0.65, 0.13

$v_{B(1)}$ ถึง $v_{B(5)}$ = 1.00, 0.60, 0.36, 0.70, 0.20

$v_{C(1)}$ ถึง $v_{C(5)}$ = 0.42, 0.40, 0.60, 0.65, 0.20

$v_{D(1)}$ ถึง $v_{D(5)}$ = 0.43, 0.63, 0.67, 0.42, 0.05

$v_{E(1)}$ ถึง $v_{E(5)}$ = 0.32, 0.50, 0.58, 0.60, 0.21

$v_{F(1)}$ ถึง $v_{F(5)}$ = 0.50, 0.44, 0.41, 0.64, 0.23

$v_{G(1)}$ ถึง $v_{G(5)}$ = 0.47, 0.42, 0.40, 0.80, 0.23 เมตร/วินาที

I = 0.850 กิโลวัตต์/เมตร^2

วิธีคำนวณ

$$t_{4'} = \frac{55.9 + 56.1 + 61.9 + 56.3}{4}$$

$$= 57.55$$

$$t_{5'} = 56.4 \times \frac{57.55}{56.3}$$

$$= 57.65$$

$$t_{6'} = 63.0 \times \frac{57.55}{56.3}$$

$$= 64.40$$

$$t_{7'} = 62.2 \times \frac{57.55}{56.3}$$

$$= 63.58$$

แทนค่าในสมการ (3)

$$57.55 = a_0 + (8.5)a_1 + (8.5)^2 a_2 + (8.5)^3 a_3 \qquad (8)$$

$$57.65 = a_0 + (6.0)a_1 + (6.0)^2 a_2 + (6.0)^3 a_3 \qquad (9)$$

$$64.40 = a_0 + (3.5)a_1 + (3.5)^2 a_2 + (3.5)^3 a_3 \quad (10)$$

$$63.58 = a_0 + (1.0)a_1 + (1.0)^2 a_2 + (1.0)^3 a_3 \quad (11)$$

แก้สมการ (8) ถึง (11) จะได้

$$a_0 = 57.8768$$

$$a_1 = 7.7083$$

$$a_2 = -2.2096$$

$$a_3 = 0.1525$$

และ $$a_{0'} = 57.8768 - 36.0$$

$$= 21.9$$

$$v_{(1)} = f \times \frac{(0.375 \times 1.4) + 1.00 + 0.42 + 0.43 + 0.32 + 0.50 + (0.375 \times 0.47)}{5.75}$$

$$= 0.5863f$$

หา instrumental correction factor (f)

$$f = \frac{\text{ความหนาแน่นของอากาศมาตรฐาน}}{\text{ความหนาแน่นของอากาศที่กำลังวัด}}$$

จาก psychrometric chart (อากาศ 36 ซ ความชื้น 51 % ทำให้ร้อนเป็น 60 ซ),

ความหนาแน่นของอากาศที่กำลังวัด = 1.026 กิโลกรัม/เมตร^3

ดังนั้น $$f = \frac{1.2}{1.026}$$

$$v_{(1)} = 0.5863 \times \frac{1.2}{1.026}$$

$$= 0.6860 \text{ เมตร/วินาที}$$

ทำนองเดียวกัน $v_{(2)} = 0.5985$

$v_{(3)} = 0.6094$

$v_{(4)} = 0.7213$

$v_{(5)} = 0.2086$

แทนค่าในสมการ (4)

$$0.6860 = (0.75)a_4 + (0.75)^2a_5 + (0.75)^3a_6 + (0.75)^4a_7 + (0.75)^5a_8 + (0.75)^6a_9 \quad (12)$$

$$0.5985 = (2.75)a_4 + (2.75)^2a_5 + (2.75)^3a_6 + (2.75)^4a_7 + (2.75)^5a_8 + (2.75)^6a_9 \quad (13)$$

$$0.6094 = (4.75)a_4 + (4.75)^2a_5 + (4.75)^3a_6 + (4.75)^4a_7 + (4.75)^5a_8 + (4.75)^6a_9 \quad (14)$$

$$0.7213 = (6.75)a_4 + (6.75)^2a_5 + (6.75)^3a_6 + (6.75)^4a_7 + (6.75)^5a_8 + (6.75)^6a_9 \quad (15)$$

$$0.2086 = (8.75)a_4 + (8.75)^2a_5 + (8.75)^3a_6 + (8.75)^4a_7 + (8.75)^5a_8 + (8.75)^6a_9 \quad (16).$$

$$0 = (9.2)a_4 + (9.2)^2a_5 + (9.2)^3a_6 + (9.2)^4a_7 + (9.2)^5a_8 + (9.2)^6a_9 \quad (17)$$

แก้สมการ (12) ถึง (17) จะได้

$$a_4 = 1.5499828$$

$$a_5 = -1.0488657$$

$$a_6 = 0.29781009$$

$$a_7 = -0.04025692$$

$$a_8 = 2.5708650 \times 10^{-3}$$

$$a_9 = -6.337568 \times 10^{-5}$$

แทนค่าในสมการ (7) จะได้

$$Q_u = 1.5885 \quad \text{กิโลวัตต์}$$

$$= 0.567 \quad \text{กิโลวัตต์/เมตร}^2$$

$$\eta_{th} = \frac{0.567}{0.850} \times 100$$

$$= 66.7 \quad \text{เปอร์เซ็นต์}$$

ภาคผนวก ค.

ตารางข้อมูลและผลการทดลองแผงรับแสงอาทิตย์

ตาราง ค.1

TABLE OF DATA & RESULT

OF SOLAR AIR HEATER

APRIL 19th, 1980.

TIME	t(a) CELCIUS	R.H. %	rho(p) kg/m**3	I kW/m**2	t(p)-t(a) CELCIUS	Gu kW/m**2	THERMAL EFF.%
08:30	29.5	68.0	1.082	0.360	22.8	0.2280	63.33
09:00	30.0	65.0	1.065	0.475	33.0	0.2576	54.24
09:30	31.0	63.0	1.046	0.575	41.0	0.4039	70.24
10:00	32.5	60.0	1.036	0.665	46.5	0.4294	64.57
10:30	33.0	58.0	1.028	0.750	52.0	0.4938	65.84
11:00	33.5	56.0	1.017	0.815	54.5	0.6180	75.83
11:30	34.0	55.0	1.018	0.835	57.0	0.5794	69.39
12:00	35.0	54.0	1.008	0.855	57.5	0.6659	77.89
12:30	35.5	52.0	1.010	0.880	60.0	0.6309	71.70
13:00	36.0	50.0	1.009	0.870	62.0	0.6283	72.22
13:30	36.5	48.0	1.012	0.868	60.0	0.5726	65.97
14:00	36.8	47.0	1.024	0.785	56.5	0.5065	64.52
14:30	37.0	45.0	1.025	0.735	55.0	0.4315	58.72
15:00	37.5	43.0	1.028	0.665	51.5	0.3838	57.72
15:30	36.5	41.0	1.034	0.565	44.0	0.3983	70.49

ตาราง ค.2

TEMPERATURE & TEMPERATURE PROFILE CO-EFFICIENT

$T = a(0) + a(1)*Y + a(2)*Y^{+2} + a(3)*Y^{+3}$

APRIL 19th, 1980.

TIME	TEMPERATURE (°C) AT CHANNEL HEIGHT (cm) 1.0	3.5	6.0	8.5	MEAN	a(0)	a(1)	a(2)	a(3)	a(0')
08:30	47.1	48.2	43.3	43.3	45.5	42.5384	6.1461	-1.7008	0.1163	13.0
09:00	47.5	50.8	48.7	49.9	49.2	42.7192	6.0944	-1.4064	0.0928	12.7
09:30	54.6	56.9	54.1	54.5	55.0	50.3928	5.4563	-1.3376	0.0865	19.4
10:00	56.4	59.6	57.6	58.6	58.1	51.8272	5.8197	-1.3344	0.0875	19.3
10:30	59.5	61.8	61.9	62.8	61.5	57.2920	2.6880	-0.5120	0.0320	24.3
11:00	65.5	68.0	64.4	61.9	65.0	61.1792	5.5384	-1.2944	0.0768	27.7
11:30	65.4	65.8	62.7	62.2	64.0	62.8936	3.4045	-0.9632	0.0651	28.9
12:00	66.8	69.1	67.7	66.6	67.6	63.9480	3.5533	-0.7440	0.0427	28.9
12:30	66.2	68.8	64.2	65.6	66.2	60.1872	7.9264	-2.0544	0.1408	24.7
13:00	69.2	70.5	64.0	65.3	67.3	63.0016	8.4032	-2.3712	0.1664	27.0
13:30	66.5	67.7	64.2	63.3	65.4	63.0688	4.5469	-1.1936	0.0779	26.6
14:00	60.2	62.2	62.0	63.0	61.8	58.0224	2.6981	-0.5888	0.0365	21.2
14:30	61.9	62.2	59.9	60.7	61.2	59.7762	2.9104	-0.8464	0.0608	22.8
15:00	62.2	62.1	58.0	56.8	59.8	59.5744	3.6448	-1.0928	0.0736	22.1
15:30	59.0	59.7	58.1	59.0	59.0	57.0008	2.6696	-0.7216	0.0512	20.5

ตาราง ค.3

AIR VELOCITY IN TEST SECTION

APRIL 19th, 1980.

TIME	VELOCITY (m/s) AT THE CHANNEL HEIGHT (cm.)				
	0.75	2.75	4.75	6.75	8.75
08:30	0.2560	0.3247	0.4113	0.4718	0.2425
09:00	0.2751	0.3361	0.3846	0.3827	0.2319
09:30	0.3209	0.3935	0.5166	0.5339	0.2872
10:00	0.3393	0.4380	0.4906	0.5518	0.2215
10:30	0.3597	0.4734	0.5142	0.5340	0.2491
11:00	0.4566	0.5395	0.5328	0.5931	0.3117
11:30	0.4050	0.4895	0.6028	0.6292	0.2799
12:00	0.4227	0.5577	0.6799	0.6338	0.2525
12:30	0.4483	0.5914	0.6041	0.6803	0.2255
13:00	0.4653	0.5560	0.6361	0.6560	0.2021
13:30	0.4357	0.5443	0.5685	0.6533	0.2457
14:00	0.5108	0.4922	0.5442	0.6265	0.3796
14:30	0.3691	0.4628	0.5020	0.6387	0.2205
15:00	0.3821	0.4171	0.4802	0.6117	0.2293
15:30	0.3584	0.3849	0.5068	0.6062	0.3617

ตาราง ค.4

VELOCITY-PROFILE CO-EFFICIENT

$V = a(4)*Y + a(5)*Y\uparrow 2 + a(6)*Y\uparrow 3 + a(7)*Y\uparrow 4 + a(8)*Y\uparrow 5 + a(9)*Y\uparrow 6$

APRIL 19th, 1980.

TIME	a(4) (E-01)	a(5) (E-01)	a(6) (E-02)	a(7) (E-02)	a(8) (E-03)	a(9) (E-04)
08:30	5.814672	-4.154766	14.518411	-2.583715	2.2975634	-0.8174958
09:00	6.420910	-4.826390	17.743638	-3.335456	3.0922722	-1.1227818
09:30	7.669135	-5.982467	22.425718	-4.191603	3.8217349	-1.3630023
10:00	7.131234	-4.313943	12.474753	-1.843353	1.3870272	-0.4378096
10:30	7.718775	-4.938802	15.747135	-2.640696	2.2565668	-0.7828547
11:00	9.905915	-6.409745	19.887187	-3.267041	2.7807150	-0.9720999
11:30	9.241982	-6.615922	22.662121	-3.913043	3.3392210	-1.1334429
12:00	9.488536	-6.652856	23.052076	-4.035174	3.4565981	-1.1653954
12:30	8.884490	-4.599079	10.403550	-1.051501	0.4180083	-0.0406944
13:00	10.074402	-6.440075	19.034486	-2.776181	1.9643366	-0.5348838
13:30	8.972919	-5.128788	13.377340	-1.728484	1.1134140	-0.3062305
14:00	12.226163	-9.366932	32.674569	-5.783309	5.1099501	-1.7955562
14:30	7.377188	-3.862568	8.368799	-0.713363	0.1290168	0.0550916
15:00	8.264804	-5.204755	14.409397	-1.918938	1.2435270	-0.3338304
15:30	8.720052	-6.919303	25.472577	-4.690309	4.2653859	-1.5324782

ตาราง ค.5

TABLE OF DATA & RESULT

OF SOLAR AIR HEATER

APRIL 20th, 1980.

TIME	t(a) CELCIUS	R.H. %	rho(p) kg/m↑3	I kW/m↑2	t(p)-t(a) CELCIUS	Qu kW/m↑2	THERMAL EFF.%
08:30	29.5	80.0	1.080	0.370	22.5	0.2753	74.42
09:00	30.5	75.0	1.064	0.465	29.2	0.3957	85.10
09:30	31.5	68.0	1.058	0.570	36.0	0.4293	75.31
10:00	33.0	63.0	1.039	0.670	42.0	0.5755	85.90
10:30	33.5	60.0	1.037	0.720	46.5	0.5442	75.58
11:00	34.0	57.0	1.047	0.500	38.0	0.3775	75.50
11:30	35.5	55.0	1.037	0.815	52.0	0.5259	64.53
12:00	36.0	51.0	1.026	0.850	56.0	0.5671	66.72
12:30	36.8	49.0	1.022	0.855	56.0	0.6382	74.64
13:00	37.2	47.0	1.019	0.850	57.0	0.7168	84.34
13:30	38.0	42.0	1.025	0.835	56.0	0.6523	78.12
14:00	38.0	39.0	1.033	0.770	48.5	0.5705	74.09
14:30	38.5	37.5	1.058	0.450	26.7	0.2765	61.46
15:00	38.8	38.0	1.042	0.715	46.5	0.4900	68.53
15:30	38.0	38.5	1.067	0.400	30.0	0.2482	62.05
16:00	37.2	39.0	1.081	0.220	15.0	0.1440	65.47
16:30	37.1	40.0	1.093	0.170	15.0	0.0938	55.22
17:00	36.5	41.0	1.101	0.080	8.0	0.0441	55.18
17:30	35.9	42.5	1.107	0.037	5.0	0.0187	50.77

ตาราง ค.6

TEMPERATURE & TEMPERATURE PROFILE CO-EFFICIENT

$T = a(0) + a(1)*Y + a(2)*Y\uparrow 2 + a(3)*Y\uparrow 3$

APRIL 20th, 1980.

TIME	TEMPERATURE (°C) AT CHANNEL HEIGHT (cm) 1.0	3.5	6.0	8.5	MEAN	a(0)	a(1)	a(2)	a(3)	a(0')
08:30	45.1	47.1	41.9	37.9	43.0	40.4024	6.1248	-1.5168	0.0896	10.9
09:00	50.8	51.6	46.0	43.0	47.9	46.6720	5.5520	-1.5200	0.0960	16.2
09:30	51.0	54.3	47.4	47.0	49.9	43.0832	10.4251	-2.6864	0.1781	11.6
10:00	59.1	60.8	51.9	51.1	55.7	51.2632	10.5797	-2.9424	0.1995	18.3
10:30	60.2	61.0	53.2	52.1	56.6	54.0448	8.3936	-2.4016	0.1632	20.5
11:00	56.7	56.8	50.7	49.4	53.3	52.4600	5.8507	-1.7280	0.1173	18.5
11:30	62.0	62.5	55.5	54.0	56.5	56.7880	7.1293	-2.0560	0.1387	21.3
12:00	63.6	64.4	57.6	57.5	60.8	57.8768	7.7083	-2.2096	0.1525	21.9
12:30	63.9	66.0	59.5	58.7	62.0	57.4488	8.5883	-2.2896	0.1526	20.6
13:00	64.1	66.3	60.4	60.1	62.7	57.8832	8.2531	-2.1824	0.1461	20.7
13:30	63.9	65.5	59.0	58.1	61.6	57.9232	8.0131	-2.1824	0.1461	19.9
14:00	61.4	62.3	56.3	56.5	59.1	56.1736	7.1059	-2.0192	0.1397	18.2
14:30	53.4	53.7	50.2	49.1	51.6	50.8272	3.5051	-0.9984	0.0661	12.3
15:00	57.8	60.3	54.6	53.1	56.5	51.7264	7.9861	-2.0448	0.1323	12.9
15:30	50.2	50.8	47.0	47.0	48.8	46.8912	4.4917	-1.2704	0.0875	8.9
16:00	48.0	46.2	43.5	42.4	45.0	47.9080	0.4173	-0.3520	0.0267	10.7
16:30	43.3	42.7	40.4	39.4	41.5	42.3920	1.3480	-0.4720	0.0320	5.3
17:00	41.8	40.2	37.6	36.8	39.1	41.5328	0.6309	-0.3936	0.0299	5.0
17:30	38.6	38.4	36.6	35.9	37.4	37.6272	1.3744	-0.4304	0.0288	1.7

ตาราง-ค.7

AIR VELOCITY IN TEST SECTION

APRIL 20th, 1980.

TIME	VELOCITY (m/s) AT THE CHANNEL HEIGHT (cm.) 0.75	2.75	4.75	6.75	8.75
08:30	0.3541	0.4442	0.5826	0.6808	0.2908
09:00	0.4473	0.4681	0.6891	0.8006	0.3264
09:30	0.5002	0.5781	0.6550	0.7309	0.3185
10:00	0.6139	0.6061	0.7151	0.8434	0.3307
10:30	0.5063	0.5533	0.7297	0.8268	0.2757
11:00	0.4205	0.4828	0.5566	0.6186	0.2853
11:30	0.5883	0.6311	0.6701	0.6306	0.2171
12:00	0.6860	0.5985	0.6094	0.7213	0.2086
12:30	0.6360	0.7521	0.7205	0.6868	0.3001
13:00	0.8172	0.8039	0.7032	0.8259	0.3214
13:30	0.8594	0.7288	0.7482	0.7716	0.3111
14:00	0.6030	0.7604	0.7275	0.8447	0.3529
14:30	0.4312	0.5142	0.5682	0.7132	0.3086
15:00	0.5592	0.7706	0.7425	0.9146	0.2767
15:30	0.3960	0.5490	0.6808	0.8044	0.3397
16:00	0.3101	0.4039	0.5528	0.6284	0.3982
16:30	0.3153	0.4812	0.6316	0.8185	0.3783
17:00	0.2934	0.4275	0.5692	0.6336	0.4457
17:30	0.2088	0.2908	0.4138	0.4541	0.2512

ตาราง ค.8

VELOCITY-PROFILE CO-EFFICIENT

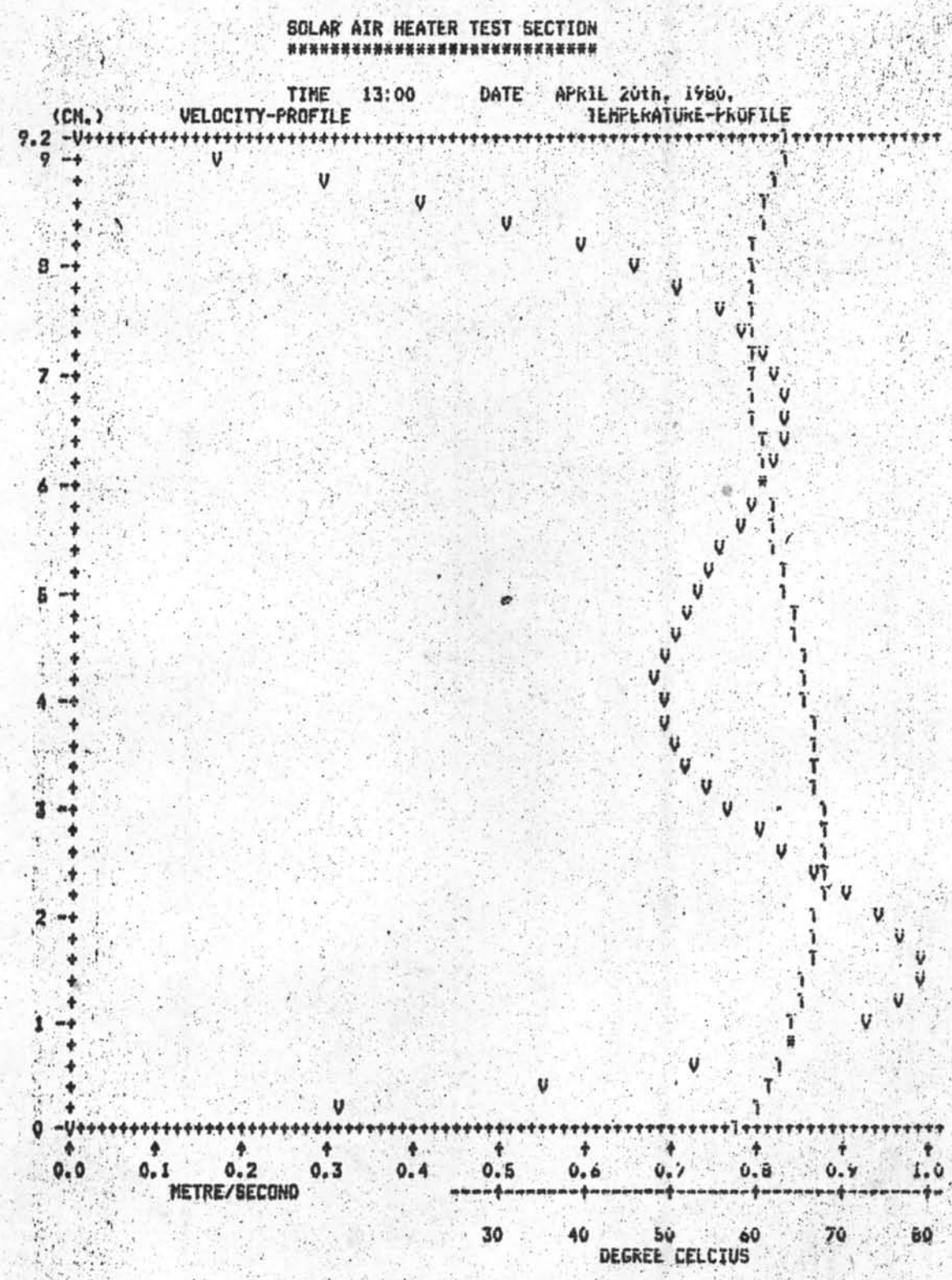
V =a(4)*Y + a(5)*Y↑2 + a(6)*Y↑3 + a(7)*Y↑4 + a(8)*Y↑5 + a(9)*Y↑6

APRIL 20th, 1980.

TIME	a(4) (E-01)	a(5) (E-01)	a(6) (E-02)	a(7) (E-02)	a(8) (E-03)	a(9) (E-04)
08:30	7.892600	-5.401512	17.667008	-2.899966	2.3709852	-0.7880713
09:00	10.769589	-8.317581	28.902921	-4.871559	3.9930792	-1.2987936
09:30	11.093924	-7.465983	23.555088	-3.780870	3.0550906	-1.0048812
10:00	14.079920	-9.936496	31.090904	-4.797013	3.8544224	-1.1239901
10:30	11.524008	-8.066220	25.446589	-3.885340	2.8651586	-0.8406523
11:00	9.461868	-6.556791	21.388557	-3.551956	2.9614260	-0.9974494
11:30	13.276270	-9.178274	29.075807	-4.629082	3.6278716	-1.1284009
12:00	15.499828	-10.488657	29.781009	-4.025692	2.5708650	-0.6337568
12:30	13.764263	-8.850760	27.142876	-4.360953	3.5646131	-1.1813215
13:00	17.711668	-11.135796	30.206883	-4.063061	2.7281788	-0.7585174
13:30	20.397314	-15.190141	49.226017	-7.927230	6.2877879	-1.9795088
14:00	12.193496	-6.668900	16.567176	-2.084751	1.3659628	-0.4033446
14:30	9.136904	-5.568696	15.589071	-2.201524	1.5996665	-0.6009956
15:00	10.270496	-4.092886	4.107806	0.676706	-1.4549465	0.6699113
15:30	8.319567	-5.075439	15.302101	-2.357559	1.8566460	-0.6155682
16:00	7.513006	-6.045058	23.799330	-4.669501	4.4660625	-1.6640297
16:30	6.414315	-3.670502	10.813962	-1.656486	1.3508436	-0.4849160
17:00	7.058804	-5.710472	23.577081	-4.860284	4.8428449	-1.8594415
17:30	4.967061	-3.897367	15.207912	-2.938493	2.7577348	-1.0101370

ภาคผนวก ง

ตัวอย่าง temperature profile และ velocity profile ใน test section

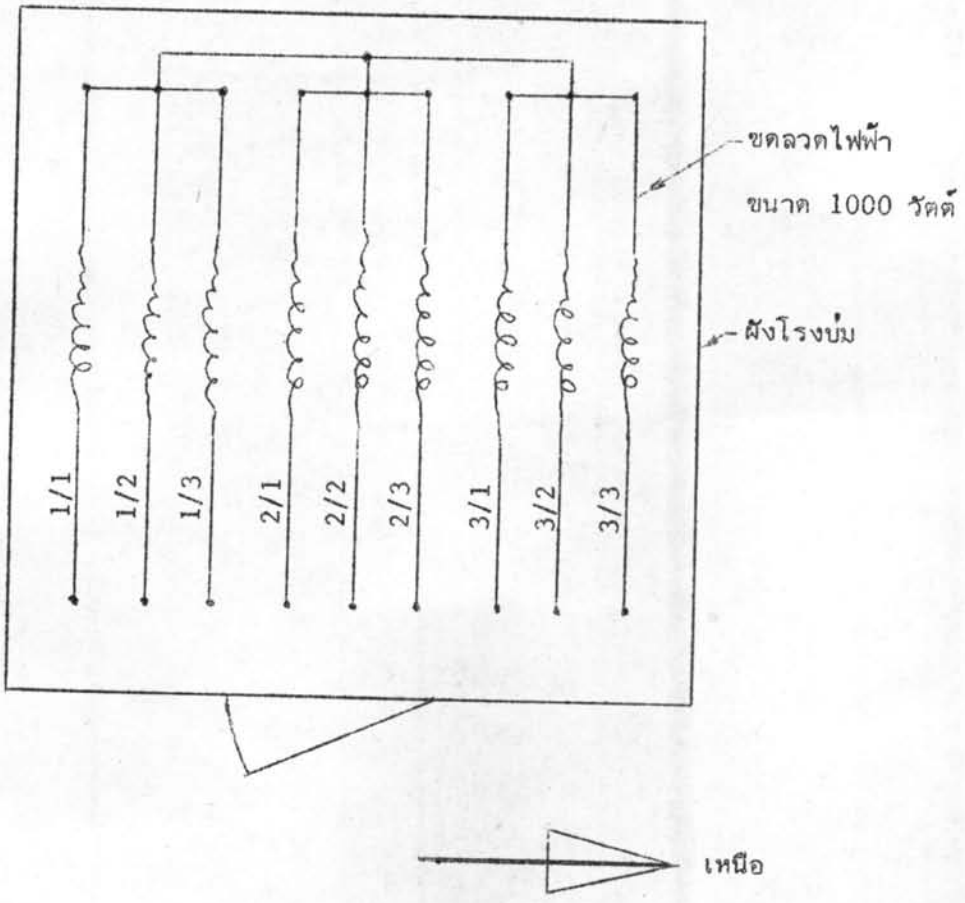


HEAT FLOW (Qu) = 0.7168914878 kW./sq.m.
THERMAL EFFICIENCY OF SOLAR AIR HEATER = 64.34 %

Computer Service Centre :- (CHU)

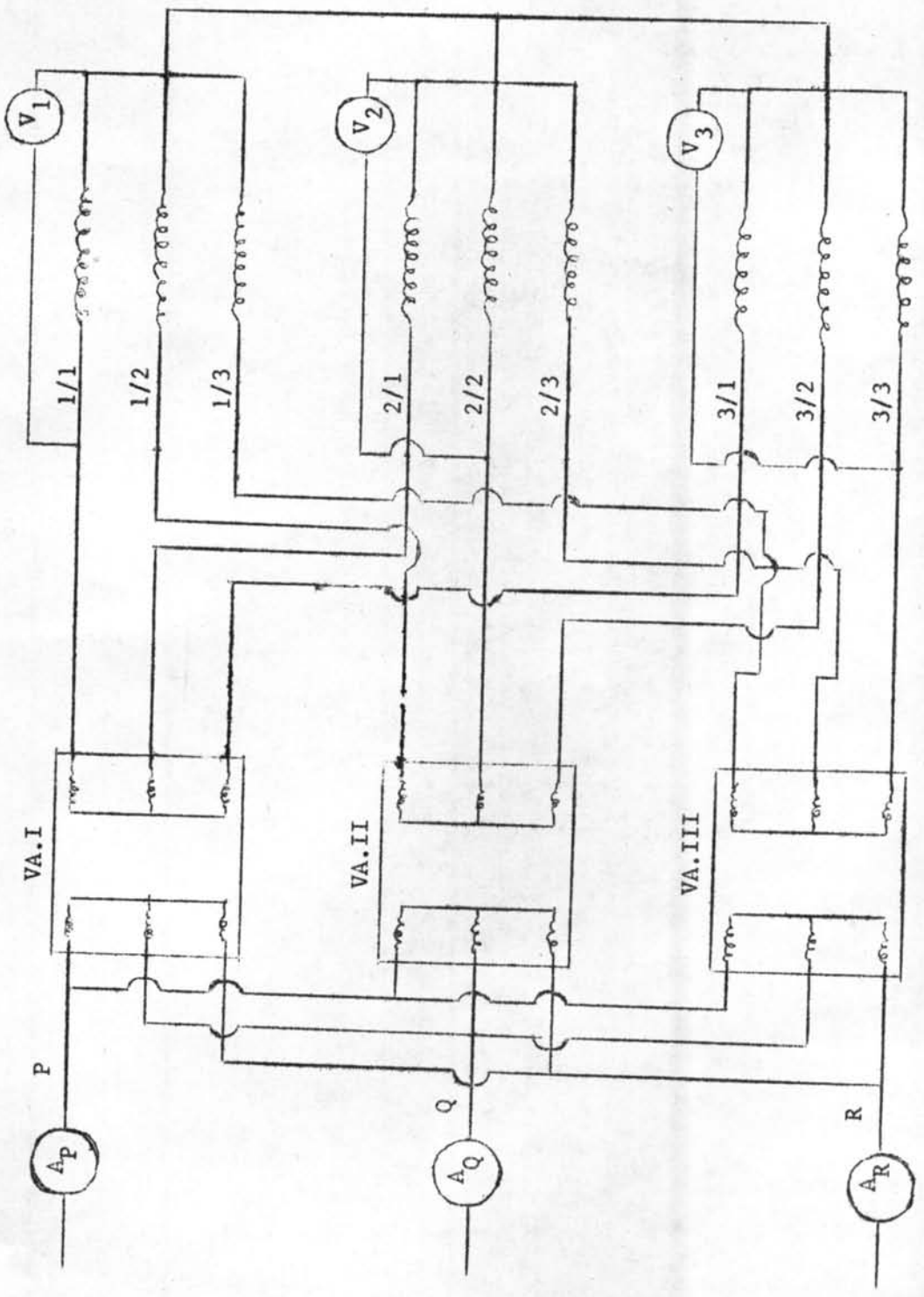
ภาคผนวก จ.

ผังการจัดวางขดลวดไฟฟ้าภายในโรงบ่มจำลอง



ภาคผนวก ฉ.

ผังวงจรไฟฟ้าในการทดลอง



ประวัติ

นายสุรศักดิ์ บำรุงวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2493 ที่ ตำบลคลองสวน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ

สำเร็จ ปริญญาตรี ทางวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ.2517

ปัจจุบัน ดำรงตำแหน่ง อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่