



การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำความร้อนจากดินขึ้นมาใช้ประโยชน์
FEASIBILITY STUDY OF USING GROUND HEAT RECOVERY



โดย
นายเจษฎา บุณเชิด
นายสุรพันธ์ ธงไชยะ

วัน เดือน ปี.....	-4.ค.ค.-2541
เลขทะเบียน.....	038641
เลขเรียกหนังสือ.....	T440068

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038641

ปีการศึกษา 2540

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำความร้อนจากดินขึ้นมาใช้ประโยชน์

โดย

นายเจษฎา บุญเชิด

นายสุรพันธ์ ธงไชยะ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์วัชร เพิ่มชาติ

อาจารย์ภัทราภรณ์ เมฆพุกษาวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2540

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

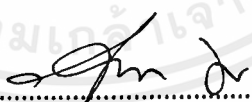
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำความร้อนจากคินขึ้นมาใช้ประโยชน์

ผู้จัดทำ

1. นายเชษฐา บุญเชิด
2. นายสุรพันธ์ รงไชยะ


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์วัชรระ เพิ่มชาติ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ภัทรภรณ์ เมฆพฤษาวงศ์)

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำความร้อนจากดินขึ้นมาใช้ประโยชน์

เจษฎา บุญเชิด
สุรพันธ์ ชงไชยะ
วัชระ เพิ่มชาติ อาจารย์ที่ปรึกษา
ภัทรภรณ์ เมฆพฤษาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

หลักการพื้นฐานที่เราจะสามารถใช้ประโยชน์จากพลังงานในรูปความร้อนที่เก็บสะสมในดิน คือ อุณหภูมิดินที่ความลึกค่าหนึ่งจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอากาศ งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิดินที่ความลึก 0.5 , 1 , 1.5 และ 2 เมตร พบว่าตั้งแต่ความลึก 1 เมตรลงไป อุณหภูมิดินวัดได้ประมาณ 26 - 27 °C สำหรับที่กรุงเทพฯ และ 25 - 26 °C สำหรับที่ราชบุรี และเก็บข้อมูลพื้นฐานได้แก่ อุณหภูมิอากาศ , ความเร็วลม , ค่ารังสีดวงอาทิตย์ จากนั้นนำข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้มาวิเคราะห์โดยสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิดินที่ความลึกต่างๆพบว่า ผลการคำนวณอุณหภูมิดินที่ได้ออกมาใกล้เคียงกัน เพราะฉะนั้นเราจึงใช้สมการทางคณิตศาสตร์นี้เป็นตัวทำนายอุณหภูมิดินแทน เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน นำผลที่ได้ไปเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์จากพลังงานในรูปความร้อนนี้ขึ้นมาช่วยในการปรับอากาศให้เหมาะสม พบว่าวิธี Earth to air heat exchanger เป็นวิธีที่เหมาะสม เพราะว่าเป็นวิธีการที่ลงทุนไม่มาก , ระบบมีส่วนประกอบที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งระบบมีหลักการทำงาน โดยใช้การฝังท่อลงในดิน ปลายท่อด้านหนึ่งต่อเข้ากับพัดลมเพื่อเป่าอากาศเข้าไปภายในท่อ อากาศจะถ่ายเทความร้อนให้กับดินในฤดูร้อน และจะรับความร้อนจากดินในฤดูหนาว ส่วนปลายท่ออีกด้านหนึ่งต่อเข้าสู่ภายในบ้าน

Feasibility Study Of Using Ground Heat Recovery

Jassda Booncherd

Suraphan Thongchaiya

Watchara Phermchard Advisor

Phattaraphorn Mekprooksawong Advisor

1997

Abstract

The basic rule used to apply for apply for exploiting the latent energy in underground is the underground temperature which will be constant without regarding the change of the ambient temperature. According to this research , we collected and recorded the basic data , such as ambient temperature , wind velocity , solar radiation and ground temperature in 0.5 , 1 , 1.5 and 2 meters depth , on 1 meters depth we found that temperature about 26-27 °c at Bangkok , 25-26 °c at Ratchaburi , then analyzed it in the form of mathematics equation. Finally we can predict the underground temperature at any depth. The prediction will help us to select the suitable technology to using ground heat recovery. We found that Earth to air heat exchanger is more suitable than the other. Because it is not expensive and easy to build. This system have a principle by buried pipe and the end of pipe connect with fan to blow the air into pipe. The air will transfer heat to the the ground in summer and absorb heat in the winter . Another side of pipe connect to the house.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
2.1 งานวิจัยในต่างประเทศ	3
2.2 งานวิจัยในประเทศ	9
บทที่ 3 หลักการและทฤษฎี	11
3.1 ลักษณะทั่วไปของความร้อนที่เก็บสะสมในดิน	11
3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายอุณหภูมิดิน	12
3.3 การนำความร้อนที่เก็บสะสมในดินขึ้นมาใช้ประโยชน์	13
3.4 ข้อได้เปรียบของการใช้ความร้อนที่เก็บสะสมในดิน	15
3.5 ปั๊มความร้อน (Heat Pump)	15
บทที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	18
4.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย	18
- อุปกรณ์การเก็บข้อมูล	18
- การเก็บข้อมูลอุณหภูมิดิน	21
- การเก็บข้อมูลพื้นฐาน	24
4.2 เทคโนโลยีในการใช้ประโยชน์จากความร้อนที่เก็บสะสมในดิน	24
- วิธี Ground - source heat pump	24
- วิธี Earth to air heat exchanger	25
- วิธี Condensing modify	27
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	28
5.1 ข้อมูลอุณหภูมิดิน	28
5.2 การคำนวณอุณหภูมิดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	28
5.3 การประมาณค่าอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปี	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	46
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	48
6.1 บทสรุป	48
6.2 ข้อเสนอแนะ	49
ภาคผนวก ก Program Mathcad For Engineering	50
ภาคผนวก ข โปรแกรมสำหรับประมาณค่าอุณหภูมิดิน	
- Soil Temperature Estimator Program For Dry Shaded Surface	52
- Soil Temperature Estimator Program For Dry Sunlit Surface	56
- Soil Temperature Estimator Program For Wet Shaded Surface	60
- Soil Temperature Estimator Program For Wet Sunlit Surface	64
ภาคผนวก ค โปรแกรมสำหรับเครื่องบันทึกข้อมูล Data logger	68
ภาคผนวก ง กลุ่มข้อมูลอุณหภูมิอากาศ	71
- T_m , hourly ambient temperature	71
- I , hourly solar radiation	73
- γ , average relative humidity	74
- v , average wind velocity	74
กิตติกรรมประกาศ	75
เอกสารอ้างอิง	76

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า	
2.1	ช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินที่ความลึกต่างๆ	3
2.2	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินในรอบวันที่ความลึกต่างๆ ที่ประเทศคูเวต วันที่ 21 มีนาคม 1975	4
2.3	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินในรอบวันที่ความลึกต่างๆ สำหรับดินแห้งถูกแสงแดด (Dry Sunlit Surface)	5
2.4	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินในรอบวันที่ความลึกต่างๆ สำหรับดินเปียกชื้นถูกแสงแดด (Wet Sunlit Surface)	6
2.5	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินในรอบวันที่ความลึกต่างๆ สำหรับดินแห้ง ไม่ถูกแสงแดด (Dry Shaded Surface)	6
2.6	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินในรอบวันที่ความลึกต่างๆ สำหรับดินเปียกชื้น ไม่ถูกแสงแดด (Wet Shaded Surface)	7
2.7	ปั๊มความร้อนแบบ Open loop	8
2.8	ปั๊มความร้อนแบบ Closed loop	9
3.1	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินในรอบวันที่ความลึกต่างๆ สำหรับดินแห้งและดินเปียกที่มีหินปกคลุมอยู่ด้านบน	11
3.2	การนำความร้อนที่เก็บสะสมในดินมาใช้ประโยชน์ในช่วงฤดูร้อน	14
3.3	การนำความร้อนที่เก็บสะสมในดินมาใช้ประโยชน์ในช่วงฤดูหนาว	14
3.4	ปั๊มความร้อนชนิด Vertical closed loop	16
3.5	ปั๊มความร้อนชนิด Horizontal closed loop	16
3.6	ปั๊มความร้อนชนิด Open loop	17
4.1	เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศ	19
4.2	เครื่องมือวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์	19
4.3	เครื่องมือวัดความเร็วลม	20
4.4	เครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา Starbus	20
4.5	หลุมที่ขุดลึก 2 เมตร เพื่อฝังสายเทอร์โมคัปเปิล	21
4.6	นำสายเทอร์โมคัปเปิลติดกับแท่งเหล็ก เพื่อฝังลงในดิน	22

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ฝิ่งแห้งเหล็กพร้อมกับสายเทอร์โมคัปเปิ้ลลงในดิน	22
4.8 ฝิ่งแห้งเหล็กพร้อมกับสายเทอร์โมคัปเปิ้ลลงในดิน	23
4.9 เครื่องบันทึกข้อมูล Data logger ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ฝังไว้	23
4.10 ระบบ Ground - source heat pump	24
4.11 ระบบ Earth to air heat exchanger	25
4.12 ระบบ Condensing modify	27
5.1 อุณหภูมิดินที่กรุงเทพฯ ในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2540 กรณีดินถูกแสงแดด	32
5.2 อุณหภูมิดินที่กรุงเทพฯ ในวันที่ 23 พฤศจิกายน 2540 กรณีดินไม่ถูกแสงแดด	34
5.3 อุณหภูมิดินที่ราชบุรี ในวันที่ 5 ธันวาคม 2540 กรณีดินถูกแสงแดด	36
5.4 อุณหภูมิดินที่ราชบุรี ในวันที่ 7 ธันวาคม 2540 กรณีดินไม่ถูกแสงแดด	38
5.5 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินที่กรุงเทพฯ ในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2540	40
5.6 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินที่ราชบุรี ในวันที่ 5 ธันวาคม 2540	42
5.7 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่กรุงเทพฯ	43
5.8 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่เชียงใหม่	44
5.9 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่สงขลา	45

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่	
5.1 อุณหภูมิดินที่กรุงเทพฯ ในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2540 กรณีดินถูกแสงแดด	31
5.2 อุณหภูมิดินที่กรุงเทพฯ ในวันที่ 23 พฤศจิกายน 2540 กรณีดินไม่ถูกแสงแดด	33
5.3 อุณหภูมิดินที่ราชบุรีในวันที่ 5 ธันวาคม 2540 กรณีดินถูกแสงแดด	35
5.4 อุณหภูมิดินที่ราชบุรีในวันที่ 7 ธันวาคม 2540 กรณีดินไม่ถูกแสงแดด	37
5.5 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินที่กรุงเทพฯ ในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2540	39
5.6 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินที่ราชบุรีในวันที่ 5 ธันวาคม 2540	41
5.7 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่กรุงเทพฯ	43
5.8 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่เชียงใหม่	44
5.9 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่สงขลา	45

รายการสัญลักษณ์

Q_{air}	= ปริมาณความร้อนของอากาศ	J
Q_{sol}	= ปริมาณความร้อนของดิน	J
\dot{m}	= อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ	kg/s
C_{pe}	= ความร้อนจำเพาะของอากาศ	J/kg $^{\circ}$ C
T_i	= อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าท่อ	$^{\circ}$ C
T_o	= อุณหภูมิอากาศออกจากท่อ	$^{\circ}$ C
L	= ความยาวท่อ	m
T_s	= อุณหภูมิดิน	$^{\circ}$ C
x	= ความลึกที่วัดจากผิวดิน	m
d	= เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ	m
D	= เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อ	m
ρ	= ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m 3
v	= ความเร็วลมของอากาศ	m/s
μ	= ความหนืดเชิงพลศาสตร์ของอากาศ	kg/m.s
k_s	= ค่าความนำความร้อนของดิน	w/m $^{\circ}$ C
k_d	= ค่าความนำความร้อนของดิน	w/m $^{\circ}$ C
Pr	= แพลนคัม นัมเบอร์	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของงานวิจัย

พลังงานนั้นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของประชากรในประเทศ โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นรูปของพลังงานที่สะดวกต่อการใช้งานนั้น มีปริมาณความต้องการเพิ่มขึ้นมาโดยตลอด คือ ประมาณ 14 % ต่อปี ในระยะ 4 ปีที่ผ่านมา ทั้งนี้เป็นผลมาจากการขยายตัวของชุมชน และการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมเป็นสำคัญ ทำให้ต้องมีการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณปีละ 1,200 - 1,500 MW จึงทำให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตต้องพิจารณาจัดสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ทุกๆ 1 - 2 ปี ซึ่งก็จะมีปัญหาต่างๆ เกิดขึ้นมากมายในการที่จะสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ในแต่ละครั้ง ไม่ว่าจะเป็นปัญหาเรื่องสถานที่ตั้ง การต่อต้านจากชุมชนในพื้นที่ การจัดหาเชื้อเพลิง มลพิษที่เกิดขึ้น ตลอดจนอัตราค่าไฟฟ้าที่คาดว่าจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากต้นทุนสูงขึ้นเมื่อมีการควบคุมมลพิษทางอากาศที่เข้มงวดมากขึ้น

มาตรการหนึ่งที่รัฐบาลใช้ในการแก้ปัญหาความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนี้คือ การรณรงค์ให้มีการประหยัดไฟฟ้าในรูปแบบและวิธีการต่างๆ เช่น โครงการการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand - Side Management หรือ DSM) ซึ่งใช้หลักการของการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิด ทั้งภายในอาคารที่พักอาศัย สถานประกอบการ ตลอดจนโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าลง แทนที่จะสร้างโรงไฟฟ้าใหม่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในปัจจุบันมีอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ช่วยประหยัดไฟฟ้าได้ เช่น อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ที่ช่วยลดกำลังสูญเสียในหลอดไฟ และหลอดไฟชนิดประหยัดพลังงาน ซึ่งให้แสงสว่างเท่ากับหลอดไฟฟ้าแบบเดิม แต่ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า เป็นต้น

งานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการหนึ่งที่คาดว่าจะช่วยลดการใช้ไฟฟ้าในอาคารบ้านเรือน หรืออาคารสำนักงาน ในส่วนของการใช้ไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศลง โดยจะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเอาพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในดิน ในรูปของความเย็นนี้ขึ้นมาใช้ประโยชน์ในการปรับอากาศภายในอาคารให้เกิดความสบายแก่ผู้อยู่อาศัย โดยจะพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญ

1.2 วัตถุประสงค์

- ศึกษาถึงลักษณะ โดยทั่วไปของความร้อนที่เก็บสะสมในดินที่สภาวะต่างๆ
- ศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่จะนำความร้อนที่เก็บสะสมในดินขึ้นมาใช้ประโยชน์ ในการปรับอากาศภายในอาคาร

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- ศึกษาสภาพการเก็บความร้อนของดิน โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิของดินที่ความลึกต่างๆเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ
- เขียนโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการทำนายอุณหภูมิดินที่สภาวะต่างๆ
- ศึกษาเทคโนโลยีที่ในการนำความร้อนที่เก็บสะสมในดินขึ้นมาใช้ประโยชน์ในการปรับสภาพอากาศภายในอาคาร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากงานวิจัยนี้ จะสามารถทำให้ทราบถึงศักยภาพของความร้อนที่เก็บสะสมในดิน ตลอดจนความเป็นไปได้ และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการที่จะนำความร้อนนี้ ขึ้นมาใช้ประโยชน์ในการปรับสภาพอากาศภายในอาคาร เพื่อให้เกิดความสบายแก่ผู้อยู่อาศัยแทนการใช้เครื่องปรับอากาศ หรือใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ตามความเหมาะสมต่อไป

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

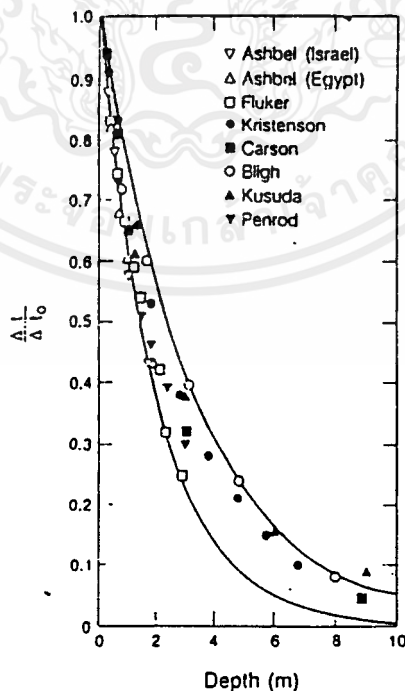
2.1 งานวิจัยในต่างประเทศ

- Baruch Givoni และ Leon Katz [1]

ได้ศึกษาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดิน โดยทำการศึกษาที่ประเทศอิสราเอล โดยการวัดจริง และการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า อุณหภูมิดินที่ลึกลงไปจากผิวดิน จะค่อนข้างคงที่และเปลี่ยนแปลงช้ากว่าอุณหภูมิที่ผิวดิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ และคุณสมบัติของดินเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังได้รวบรวมข้อมูลอุณหภูมิดินจากงานวิจัยต่างๆ ตลอดจนศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่า time lag กับค่าความลึกของดิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิดินที่ยังลึกลงไปจากผิวดินนั้น ช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีค่าน้อยลง เมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ผิวดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.1

โดย Δt_0 คือ ช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวดิน

Δt คือ ช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ความลึกใดๆ



รูปที่ 2.1 ช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ความลึกต่างๆ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Khattry , Sodha และ Malik [3]

ได้เสนอสมการที่ใช้ทำนายอุณหภูมิของดินที่ความลึกและเวลาต่างๆ โดยคำนวณมาจากสมการคลื่นที่ผิวดินในขณะที่ถูกแสงแดด ดังนี้

$$T_A = T_{am} + (\alpha_0 S/h) - (\epsilon \Delta R/h)$$

$$\theta(x,t) = a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} B_m \exp(-m^{0.5} \alpha x) \cos(m\omega t - m^{0.5} \alpha x - \sigma_m - \beta_m)$$

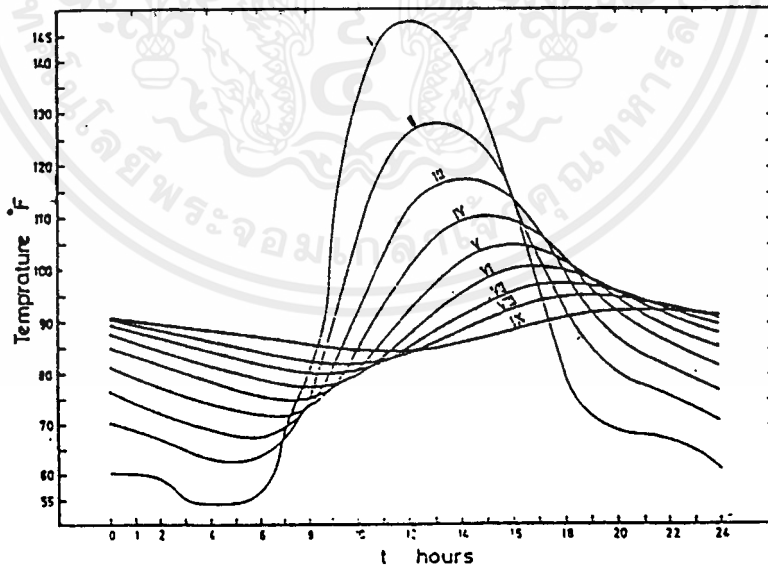
$$\text{โดย } \alpha = (\omega \rho c / 2k)^{0.5}$$

$$B_m = a_m [(1 + m^{0.5} \mu)^2 + m\mu]^{2-0.5}$$

$$\mu = (k\omega \rho c / 2)^{0.5} / h$$

$$\beta_m = \tan^{-1} [m^{0.5} \mu / (1 + m^{0.5} \mu)]$$

ซึ่งผลการคำนวณโดยใช้สมการดังกล่าวเป็นดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินในรอบวันที่ความลึกต่างๆที่ ประเทศตุเวศ (21มี.ค.1975)

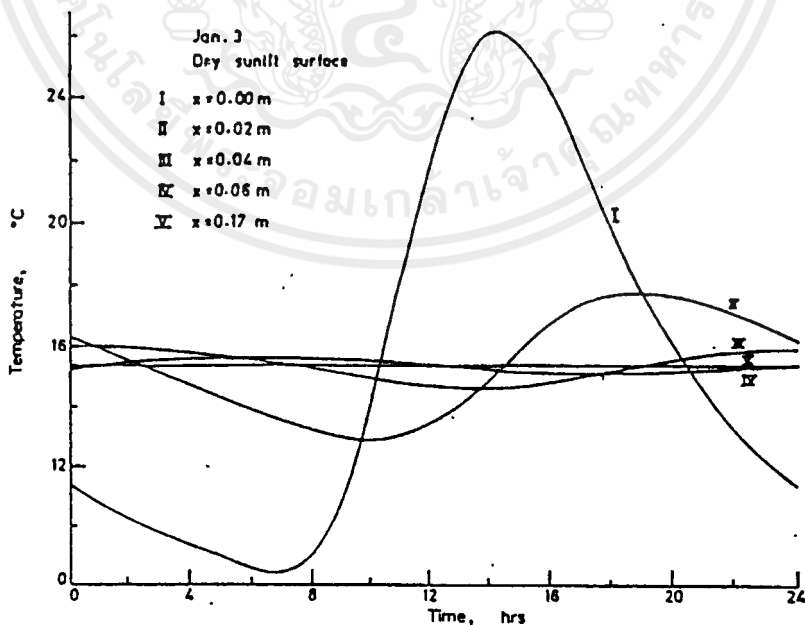
โดย I-solair , II- $\alpha x = 0$, III- $\alpha x = 2\pi/24$, IV- $\alpha x = 4\pi/24$, V- $\alpha x = 6\pi/24$,

VI- $\alpha x = 8\pi/24$, VII- $\alpha x = 10\pi/24$, VIII- $\alpha x = 12\pi/24$, IX- $\alpha x = 16\pi/24$ [3]

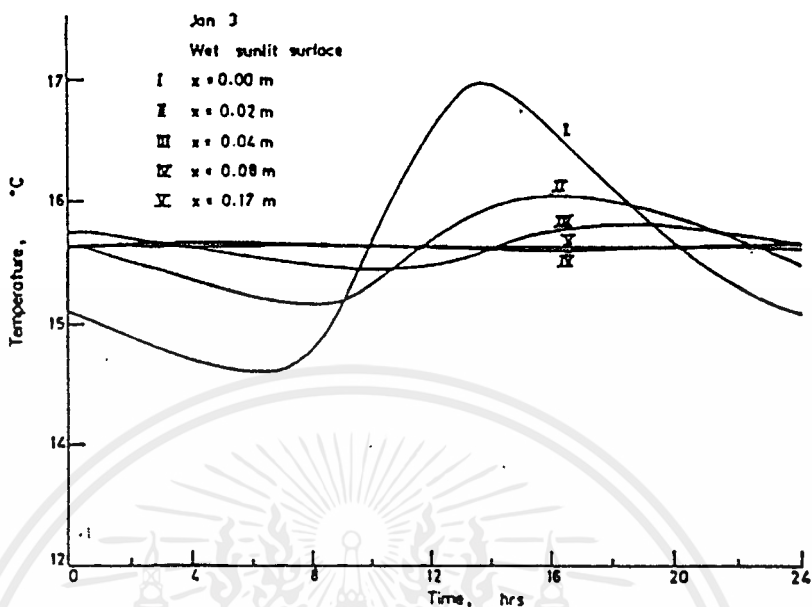
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Bharadwaj และ Bansal [2]

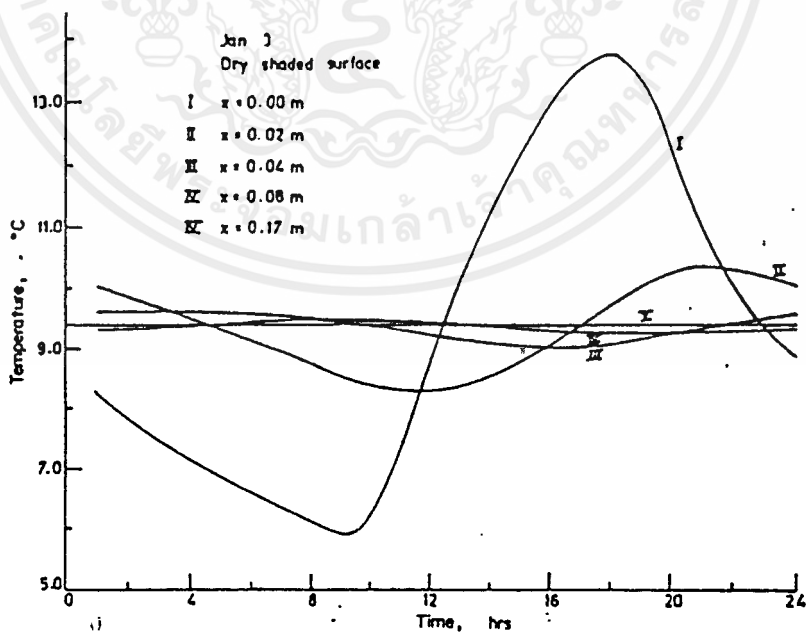
ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดินในรอบวันและในรอบปี ในสภาพแวดล้อมต่างๆ กัน 4 แบบทั้งในฤดูร้อนและฤดูหนาว คือ ดินแห้งถูกแสงแดด (Dry sunlite), ดินเปียกชื้นถูกแสงแดด (Wet sunlite), ดินแห้งไม่ถูกแสงแดด (Dry shaded), และดินเปียกชื้นไม่ถูกแสงแดด (Wet shaded) ซึ่งพบว่า ไม่ว่าดินจะอยู่ในสภาพแวดล้อมใดก็ตาม อุณหภูมิดินที่อยู่ลึกลงไปจากผิวดิน จะค่อนข้างคงที่ไม่แปรเปลี่ยนไปตามเวลามากเท่ากับอุณหภูมิที่ผิวดินหรืออุณหภูมิของอากาศ โดยดินที่อยู่ในสภาวะเปียกชื้นนั้น ความชื้นจะส่งผลให้อุณหภูมิของดินมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าดินที่อยู่ในสภาวะแห้ง เมื่อเปรียบเทียบที่ความลึกเท่ากัน และยังพบว่า อุณหภูมิดินที่ความลึก 0.15 เมตร จะค่อนข้างคงที่ในรอบวัน และในรอบปีอุณหภูมิดินจะคงที่ที่ความลึกประมาณ 4 เมตร ดังรูป 2.3 - 2.6



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินในรอบวันที่ความลึกต่างๆ สำหรับดินแห้งถูกแสงแดด
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(Dry sunlit surface) [2]
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

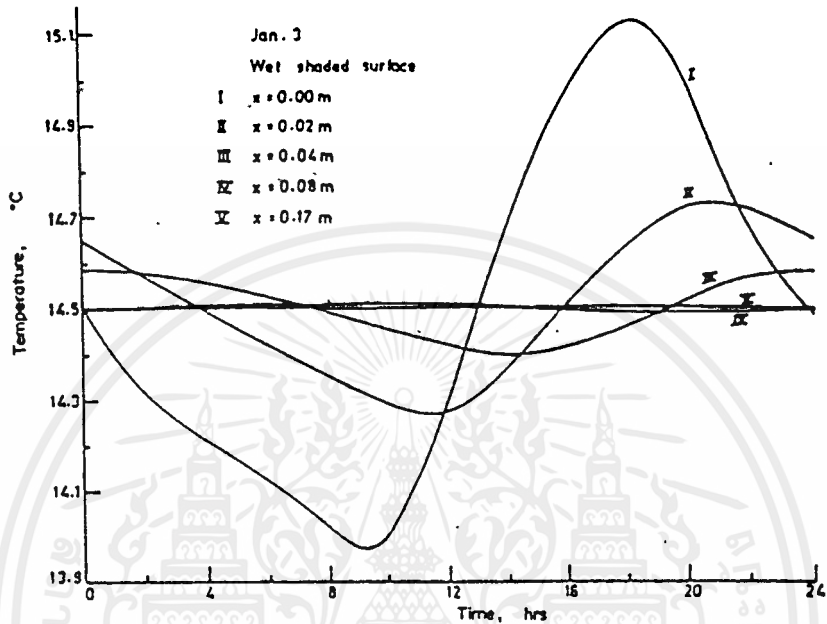


รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินในรอบวันที่ความลึกต่างๆสำหรับดินเปียกชื้นถูกแสงแดด (Wet sunlit surface) [2]



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินในรอบวันที่ความลึกต่างๆสำหรับดินแห้งไม่ถูกแสงแดด (Dry shaded surface) [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินในรอบวันที่ความลึกต่างๆสำหรับดินเปียกชื้นไม่ถูกแสงแดด (Wet shaded surface) [2]

- Santamouris, Mihalakakou, Balaras, Argirion, Asimakopoulos และ Vallindras [4]

ได้ศึกษาการทำความเย็นในเรือนกระจกที่ประเทศกรีซ ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับดิน (Earth to air heat exchanger) โดยใช้ท่อฝังลงในดิน เพื่อทำหน้าที่เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และใช้อากาศเป็นตัวดูดซับความร้อนจากดิน โดยได้ศึกษาถึงขนาดท่อความยาวท่อ, ความลึกของการฝังท่อ และความเร็วของอากาศที่ไหลในท่อ ที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของระบบ ซึ่งพบว่า อุณหภูมิภายในเรือนกระจกนั้นจะลดลง เมื่อเพิ่มความยาวท่อหรือเพิ่มความลึกของการฝังท่อลงในดินในช่วง 0 - 4 เมตรแรก หรือลดขนาดท่อ หรือลดความเร็วของอากาศที่ไหลภายในท่อ

- Jayashankar, Sawhney และ Sodha [5]

ได้ศึกษาถึงผลของดินในสถานะต่างๆที่มีต่ออุณหภูมิ solair ของผิวดิน อันส่งผลถึงสมรรถนะทางความร้อนของการใช้ประโยชน์จากดิน ในการปรับสภาพอากาศภายในอาคาร

(Earth - Integrated buiding) โดยใช้สมการอุณหภูมิ solair และเงื่อนไขของสถานะดินดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์เชิงพาณิชย์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_{\text{eff}} = [(h_0 + 0.013h_c \gamma R_1) T_s + \alpha S - \epsilon \Delta R - 0.013R_2 h_c (1 - \gamma)] / h_{\text{eff}}$$

โดย $h_{\text{eff}} = h_0 + 0.013R_1 h_c$

กรณีที่เป็นดินแห้งถูกแสงแดด $R_1 = 0, R_2 = 0, \alpha = 0.6$

กรณีที่เป็นดินแห้งไม่ถูกแสงแดด $R_1 = 0, R_2 = 0, \alpha = 0.0$

กรณีที่เป็นดินเปียกชื้นถูกแสงแดด $R_1 = 249, R_2 = -3013, \alpha = 0.6$

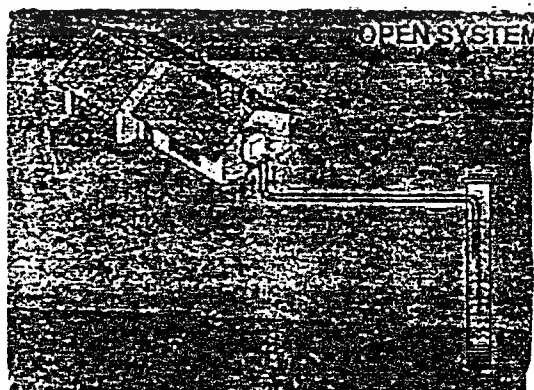
กรณีที่เป็นดินเปียกชื้นไม่ถูกแสงแดด $R_1 = 249, R_2 = -3013, \alpha = 0.0$

- [http:// www.discribe.ca / nordic / mgmain.htm](http://www.discribe.ca/nordic/mgmain.htm) [7]

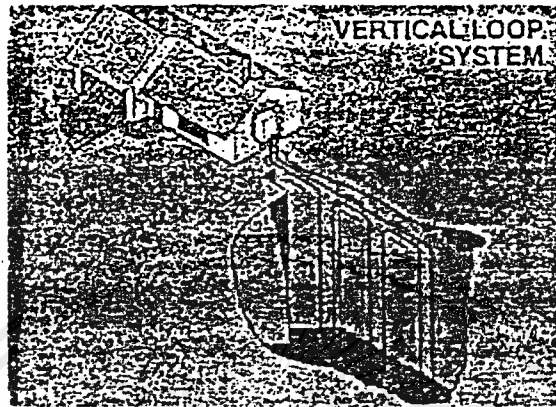
เป็นข้อมูลที่ได้จากบริษัท Maritime Geothermal Ltd. ซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการดึงความร้อนที่เก็บสะสมไว้ในดิน หรือน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ประโยชน์ในการปรับสภาพอากาศภายในอาคาร ที่เรียกว่าระบบ Geothermal Heat Pump หรือ GHP ซึ่งระบบ GHP นี้จะสามารถทำได้ทั้งความร้อนและความเย็นภายในระบบเดียวกัน โดยใช้ท่อที่ทำด้วยโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง หรือโพลีบิวทิลีน ผังลงในดินที่ความลึกประมาณ 4-6 ฟุต

- [http:// www.igshpa.okstate.edu / Do_It_Naturally / DIN.HTM](http://www.igshpa.okstate.edu/Do_It_Naturally/DIN.HTM) [10]

เป็นข้อมูลที่ได้จาก Popular Science Magazine ที่ได้กล่าวถึงลักษณะการทำงานของ Ground Source Heat Pump ที่สามารถทำได้ทั้งความร้อนและความเย็นในระบบเดียวกัน โดยได้แบ่งระบบออกเป็น 2 แบบคือ close loop และ open loop ดังรูปที่ 2.7-2.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.7 บิมความร้อนแบบ Open loop [10] ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ป้อนความร้อนแบบ Closed loop [10]

2.2 งานวิจัยในประเทศ

- เฉลียว แจงไพร [19]

ได้ศึกษาการวัดและการคาดคะเนอุณหภูมิดิน เพื่อใช้ในการจำแนกดินในระดับ family และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิดินที่ทำการศึกษาโดยเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทางทหารของสหรัฐ เมื่อ พ.ศ. 2507-2508 ในภาคต่างๆของประเทศไทยทั้งหมด 17 แห่ง โดยทำการวัดอุณหภูมิเป็น 2 ระยะ คือ ในเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม ตัวเลขที่ได้ใช้แทนฤดูร้อน และในเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ตัวเลขที่ได้ใช้แทนฤดูหนาว โดยทำการวัดอุณหภูมิดินที่ความลึก 16.5 นิ้ว และใช้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิดินในฤดูร้อนและฤดูหนาว และค่าอุณหภูมิดินเฉลี่ยตลอดทั้งปีเป็นค่าจำแนกดิน

- คริ่งใจ นूरณสมภพ [17]

ได้ศึกษาถึงการประหยัดพลังงานภายในอาคาร โดยการนำเอาความเย็นที่เก็บสะสมในดินมาช่วยในการทำความเย็นภายในอาคาร โดยใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ฟุต ยาว 40 เมตร ฝังลงในดินที่ความลึก 1.8 - 2.0 เมตร แล้วต่อท่อเข้ากับเครื่องปรับอากาศและมีพัดลมเสริมพิเศษที่เป็นตัวทำให้อากาศภายในหมุนเวียน เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนผ่านผิวท่อที่มีความเย็นกว่า อันจะเป็นการลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า วิธีการนี้ไม่ค่อยคุ้มกับการลงทุนมากนัก เพราะระบบสามารถนำความเย็นจากดินมาใช้ได้

เพียง 2 - 3 ชั่วโมงต่อวันเท่านั้น อีกทั้งประสิทธิภาพของท่อลมก็ลดลงเนื่องจากอากาศเข้าและอากาศออกจากท่อมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน แต่วิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในช่วงเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์

๗



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

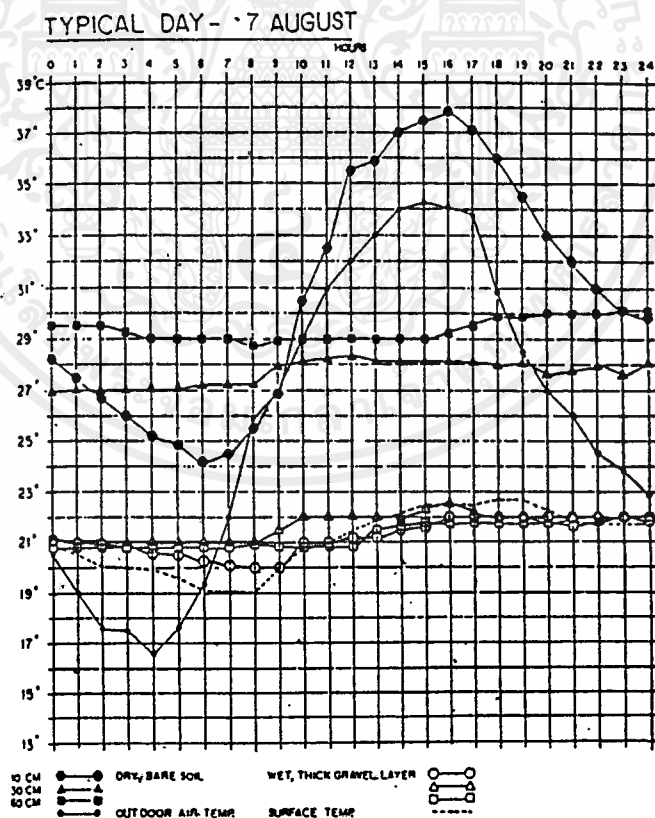
บทที่ 3

หลักการและทฤษฎี

3.1 ลักษณะทั่วไปของความร้อนที่เก็บสะสมในดิน

โดยทั่วไปพื้นดินจะสามารถดูดและเก็บสะสมความร้อนที่รับมาจากดวงอาทิตย์ได้ ซึ่งความร้อนที่เก็บสะสมไว้นี้ จะมีปริมาณที่ไม่คงที่และแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ Baruch และ Leon [2] ได้กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บสะสมความร้อนในดินมีดังนี้

- คุณสมบัติของดิน (Soil properties)
- สภาพพื้นที่ (Local conditions)
- เวลาหรือฤดูกาล (Time or season)
- ความลึก (Depth)



รูปที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินในรอบวันที่ความลึกต่างๆสำหรับดินแห้งและดินเปียก ที่มีหินปกคลุมอยู่ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก [1] จะเห็นว่าในวันหนึ่งๆนั้น อุณหภูมิดินที่ความลึกค่าหนึ่ง จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเช่นเดียวกับอุณหภูมิของอากาศ แต่อุณหภูมิของดินจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะมีค่าน้อยลงเมื่อความลึกของดินมีค่ามากขึ้น

จากงานวิจัยของ Bharadwaj และ Bansal [2] เมื่อสภาพพื้นที่แตกต่างกัน ในขณะที่คุณสมบัติของดินเหมือนกัน คือถ้าเป็นดินแห้งถูกแสงแดด (Dry sunlite surface) และดินเปียกชื้นถูกแสงแดด (Wet sunlite surface) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดินที่ความลึกต่างๆก็จะมีเปลี่ยนแปลงที่ไม่เท่ากันโดยที่ความลึกเท่ากัน ดินที่เปียกชื้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากกว่าดินแห้ง

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายอุณหภูมิดิน

จาก [3] ได้วิเคราะห์หาสมการสำหรับทำนายอุณหภูมิของดินที่ความลึกและเวลาต่างๆโดยใช้สมการของการนำความร้อนใน 1 มิติ ดังนี้

$$-K \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_0 [\theta_A - \theta \Big|_{x=0}] - mL + \alpha_0 S(t) - \epsilon \Delta R \quad (1)$$

$$\text{โดยที่} \quad mL = 0.013 h_0 [P_s(\theta_A \Big|_{x=0}) - \gamma P_s(\theta_A)] \quad (2)$$

$$\text{และ} \quad P_s = R_1 \theta + R_2 \quad (3)$$

แทนสมการ (2) และ (3) ใน (1) และจัดรูปสมการใหม่เป็น

$$-K \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_c (\theta_c - \theta \Big|_{x=0}) \quad (4)$$

$$\text{โดย} \quad h_c = h_0 (1 + 0.013 R_1) \quad (5)$$

$$\text{และ} \quad \theta_c = \frac{1[h_0(1 + 0.013 R_1 \gamma) \theta_A + \alpha_0 S(t) - \epsilon \Delta R - 0.013 R_2 h_0 (1 - \gamma)]}{h_c} \quad (6)$$

สำหรับ θ_c นั้น สามารถใช้อุณหภูมิเฉลี่ยโดยใช้คาบเวลา 24 ชั่วโมง ($\omega = 2\pi/24$)

$$\text{ได้เป็น } \theta_c = a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} a_m \cos(m\omega t - \Psi_m) \quad (7)$$

ผลลัพธ์ทั่วไปของสมการการนำความร้อนใน 1 มิติ โดยสมมติว่า θ มีค่าจำกัด เมื่อ x มีค่าเข้าใกล้อนันต์ (1) สามารถเขียนได้เป็น

$$\theta(x,t) = A_0 + \sum_{m=1}^{\infty} A_m \exp[I(m\omega t + \alpha_m x)] \quad (8)$$

$$\text{โดยที่ } \alpha_m = -(1 - I)(\omega \rho c m / 2k)^{1/2}$$

แทนค่า θ จาก (8) และ θ_c จาก (7) ใน (4) จะได้สมการที่ใช้ทำนายอุณหภูมิดินที่ความลึกและเวลาใดๆคือ

$$\theta(x,t) = a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} B_m \exp(-m^{0.5} \alpha x) \cos(m\omega t - m^{0.5} \alpha x - \Psi_m - \beta_m) \quad (9)$$

โดย

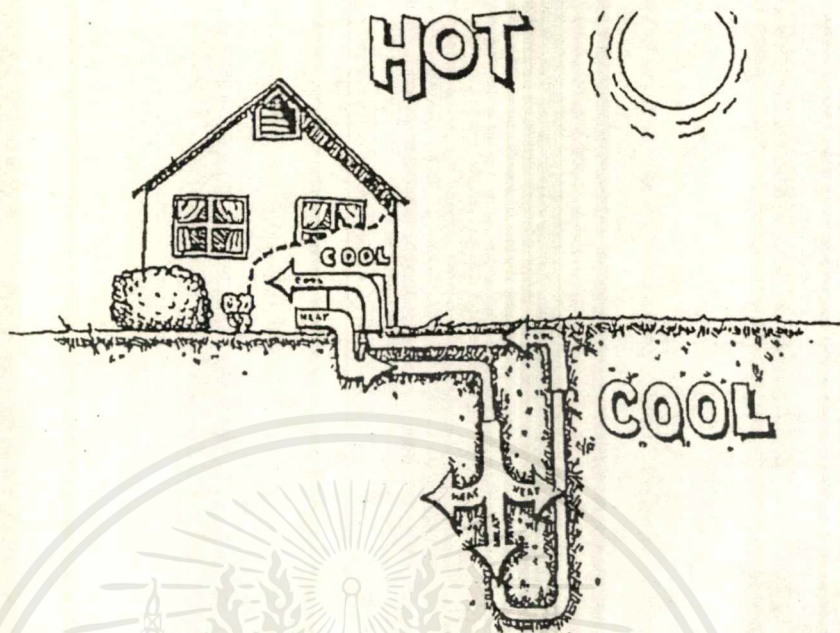
$$B_m = a_m [(1 + m^{0.5} \mu) + m \mu^2]^{-0.5}$$

$$\mu = (K \omega \rho c / 2)^{0.5} / h$$

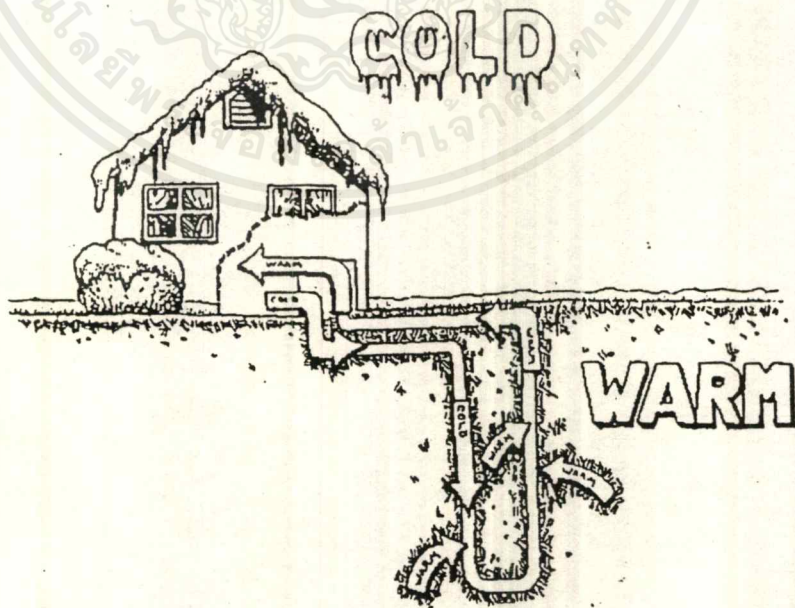
$$\beta_m = \tan^{-1} [m^{0.5} \mu / (1 + m^{0.5} \mu)]$$

3.3 การนำความร้อนที่เก็บสะสมในดินขึ้นมาใช้ประโยชน์

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นนั้น ทำให้ทราบว่าความร้อนที่เก็บสะสมในดินจะไม่คงที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยต่างๆดังกล่าวแล้ว ปัจจัยเรื่องเวลาหรือฤดูกาลนั้นก็เป็สิ่งที่มีอิทธิพลมากต่อการเก็บสะสมความร้อนในดิน กล่าวคือ ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศสูงหรือช่วงฤดูร้อนนั้น อุณหภูมิของดินจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศ ทำให้พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้นั้นจะอยู่ในรูปของความเย็น ในทางกลับกันในช่วงที่อุณหภูมิกอากาศต่ำหรือช่วงฤดูหนาวนั้น อุณหภูมิของดินจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศ พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้จึงอยู่ในรูปของความร้อน ดังแสดงในรูป 3.2 - 3.3



รูปที่ 3.2 การนำความร้อนที่เก็บสะสมในดินมาใช้ประโยชน์ในช่วงฤดูร้อน



รูปที่ 3.3 การนำความร้อนที่เก็บสะสมในดินมาใช้ประโยชน์ในช่วงฤดูหนาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ข้อได้เปรียบของการใช้ความร้อนที่เก็บสะสมในดิน

- ประสิทธิภาพสูง ระบบสามารถให้ประสิทธิภาพได้สูงถึง 4 เท่าเมื่อเทียบกับระบบเตาเผาที่ใช้เชื้อเพลิง fossil เนื่องจากระบบไม่ต้องมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ได้ความร้อน แต่นำความร้อนที่มีอยู่แล้วมาใช้เลย

- ค่าบำรุงรักษาต่ำ

- ปลอดภัย

- ประหยัดพื้นที่และไม่มีเสียงดัง เนื่องจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนถูกฝังอยู่ในดิน

ในดิน

- ประหยัดพลังงาน การใช้ประโยชน์จากความร้อนที่เก็บสะสมในดินนี้ ถือเป็น การใช้พลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งซึ่งช่วยประหยัดการใช้พลังงานจากน้ำมันได้

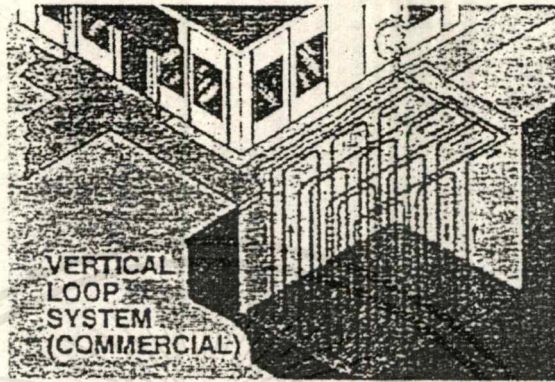
- ไม่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม เพราะไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ที่จะทำให้เกิดมลพิษกับอากาศ

3.5 บั้มความร้อน (Heat pump)

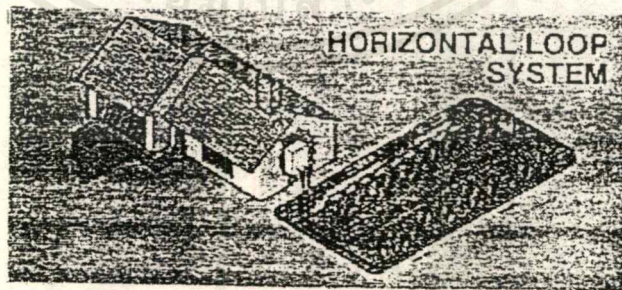
เป็นอุปกรณ์ที่มีหลักการทำงานและส่วนประกอบเหมือนระบบทำความเย็นทั่วไป ข้อแตกต่างอยู่ที่การนำไปใช้งาน ซึ่งเน้นในการยกระดับคุณภาพของความร้อนจากเกรดต่ำให้สูงขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้กับแหล่งความร้อนทั้งที่มีอยู่แล้วหรือใช้ในการทำความเย็นและความร้อนในคราวเดียวกัน ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานกว่าเมื่อเทียบกับระบบที่ให้ทำความเย็นหรือความร้อนอย่างเดียว บั้มความร้อนที่ใช้เป็นทั้งระบบทำความเย็นและระบบทำความร้อน โดยใช้แหล่งความร้อนจากพื้นดินนี้ มีชื่อเรียกเฉพาะว่า Geothermal Heat Pump หรือ GHP

ลักษณะการทำงานของ GHP แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ แบบ Closed loop และ Open loop

- แบบ Closed loop แบ่งได้เป็นแบบ Vertical และ Horizontal ดังแสดงในรูปที่ 3.4 - 3.5 ซึ่งทั้ง 2 แบบนี้ มีหลักการทำงานคือ สารทำงานจะหมุนเวียนภายในท่อที่ฝังอยู่ในดิน และรับความร้อนจากดินแล้วถ่ายเทให้กับอาคารในฤดูหนาว ในขณะที่เดียวกันก็จะรับความร้อนจากอาคารแล้วถ่ายเทกลับไปให้กับดินในฤดูร้อน



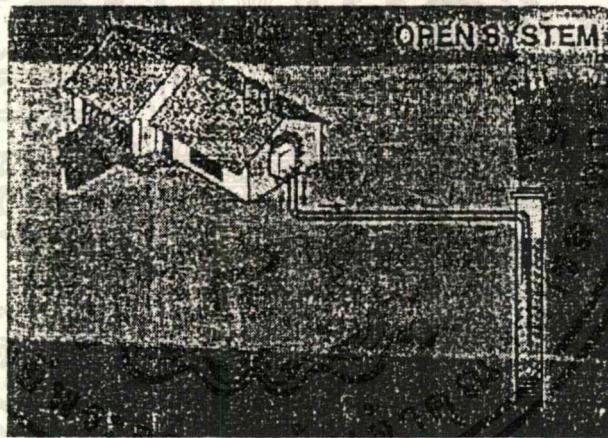
รูปที่ 3.4 บั้มความร้อนชนิด Vertical closed loop



รูปที่ 3.5 บั้มความร้อนชนิด Horizontal closed loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบ Open loop เป็นระบบที่ใช้น้ำใต้ดินจากบ่อน้ำบาดาลเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน โดยน้ำใต้ดินนี้จะถูกสูบขึ้นมาผ่านหน่วยแลกเปลี่ยนความร้อน (Geothermal unit) ซึ่งเป็นที่ที่น้ำจะส่งถ่ายหรือรับความร้อน แล้วจึงถูกส่งกลับไปยังใต้ดิน เพราะว่าคุณสมบัติของน้ำใต้ดินค่อนข้างจะคงที่ตลอดปี จึงสามารถใช้เป็นแหล่งรับหรือให้ความร้อนได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 บั้มความร้อนชนิด Open loop

บทที่ 4

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

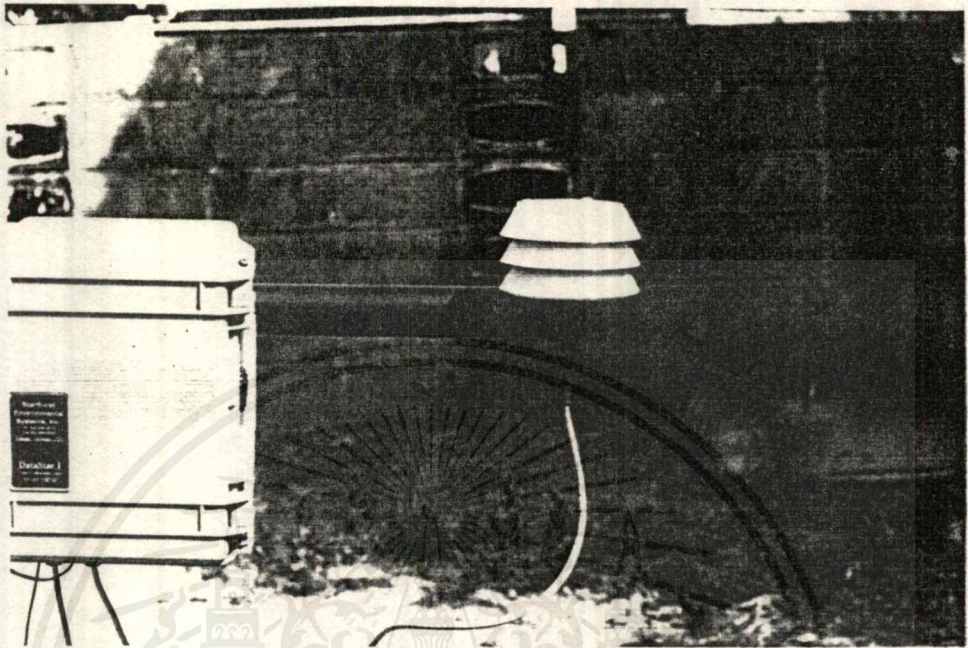
ในการดำเนินงานวิจัยนั้น ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

- การเก็บข้อมูลเบื้องต้น
- ศึกษาเทคโนโลยีที่จะนำความร้อนขึ้นมาใช้ประโยชน์

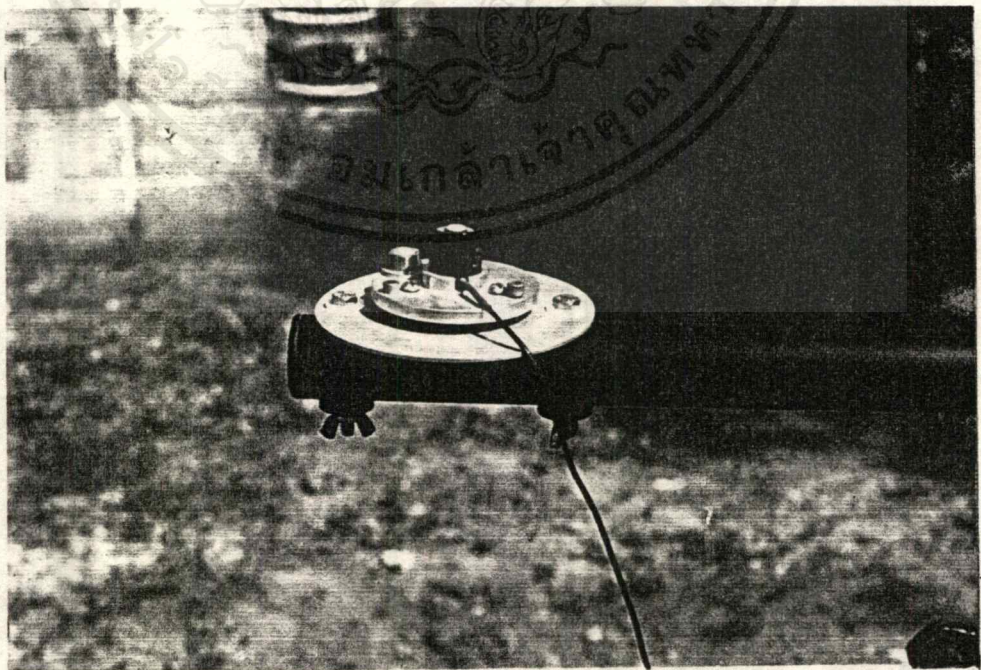
ขั้นตอนที่ 1 การเก็บข้อมูลเบื้องต้น ได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิดินและข้อมูลพื้นฐานที่จะใช้ในการคำนวณที่กรุงเทพฯ และราชบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงลักษณะการกักเก็บความร้อนของดิน และใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปี

1. อุปกรณ์การเก็บข้อมูล

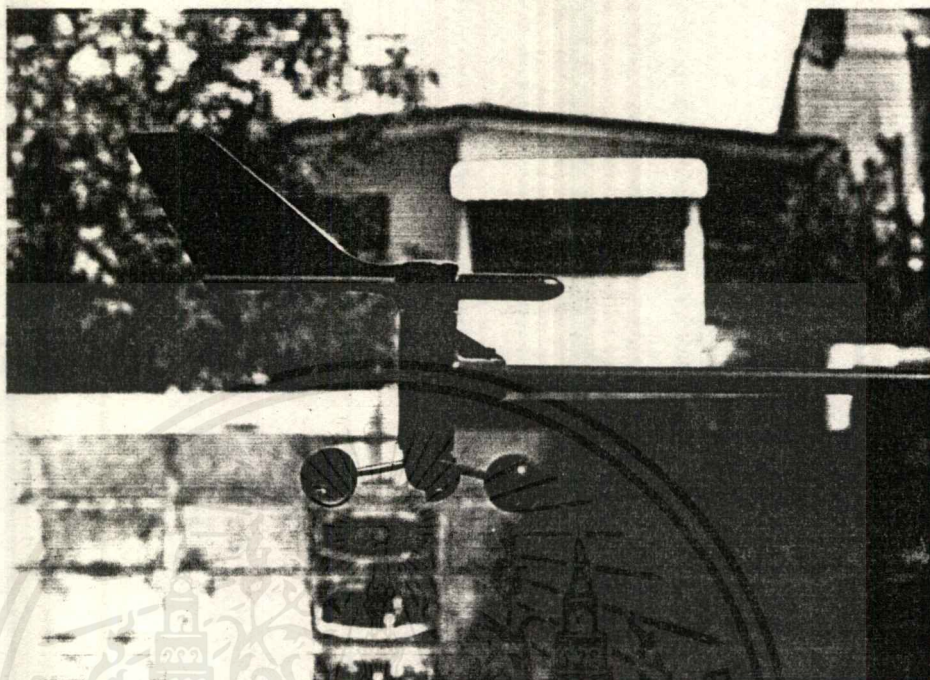
- เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศ ดังรูปที่ 4.1
- เครื่องมือวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 4.2
- เครื่องมือวัดความเร็วลม ดังรูปที่ 4.3
- เครื่องบันทึกข้อมูล Data logger
- เทอร์โมคัปเปิ้ล Type K



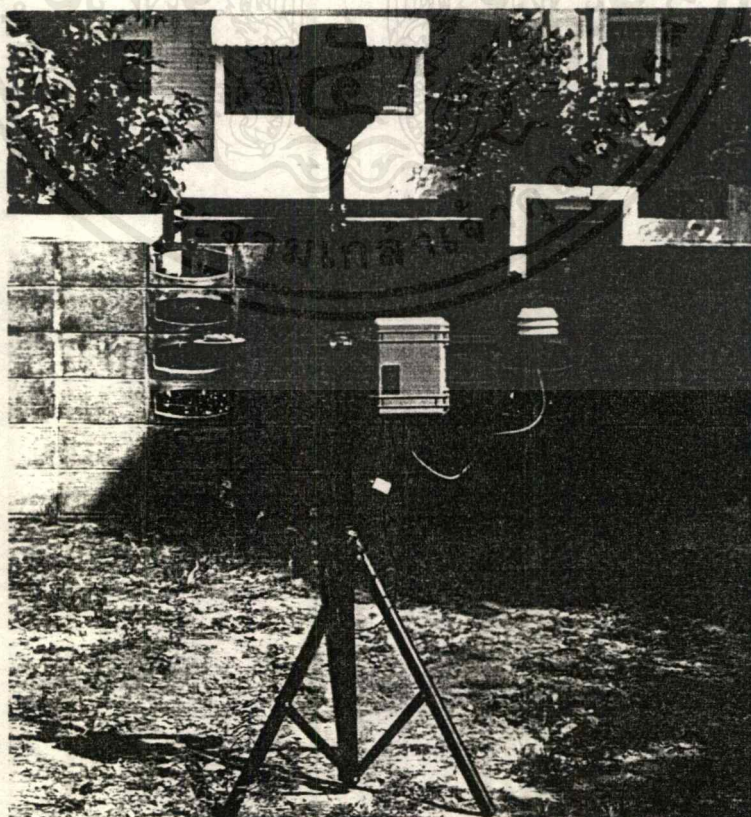
รูปที่ 4.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.2 เครื่องมือวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์ภายใต้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง 038641



รูปที่ 4.3 เครื่องมือวัดความเร็วลม



รูปที่ 4.4 เครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา Starbus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่หรือดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีสารนำไปใช้

2. การเก็บข้อมูลอุณหภูมิดิน

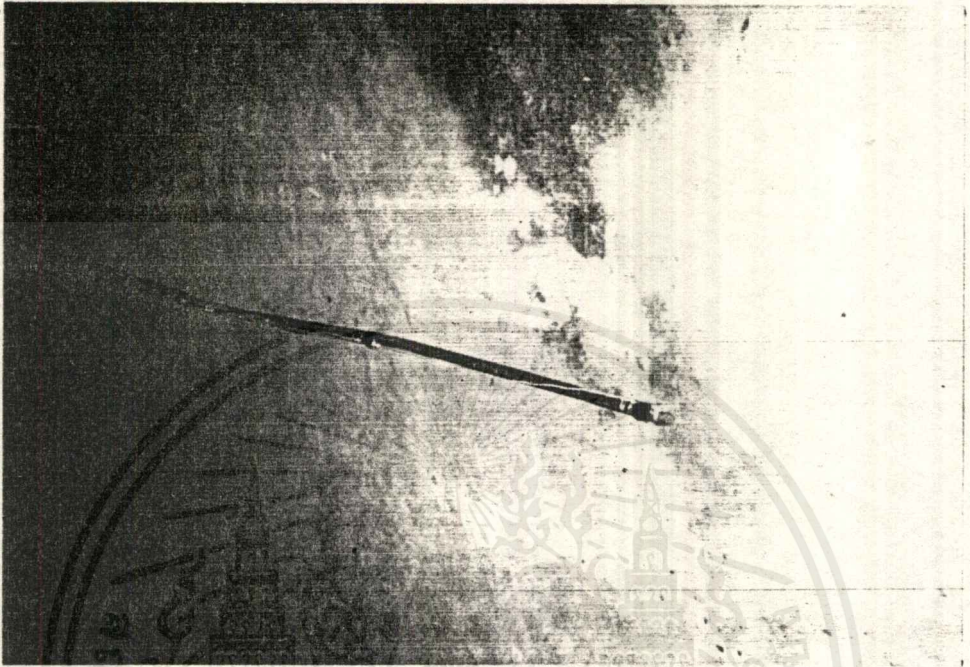
- ขุดหลุมลึก 2 เมตร พร้อมฝังสายเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ความลึก 0.5, 1.0 , 1.5 และ 2.0 เมตร แล้วทำการกลบโดยพยายามให้ดินกลับสู่สภาพเดิมให้มากที่สุด ดังรูปที่ 4.5 - 4.8

- ต่อสายเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล Data logger เพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิดินที่ความลึกต่างๆ ดังกล่าว โดยตั้งโปรแกรมให้บันทึกค่าทุกๆ 15 นาที ดังรูปที่ 4.9

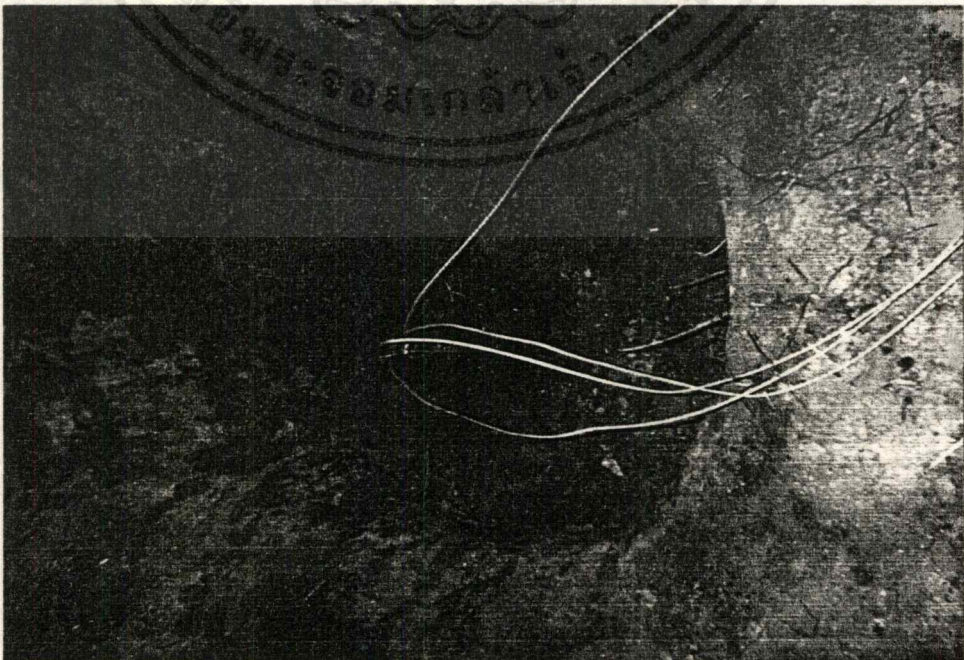


รูปที่ 4.5 หลุมที่ขุดลึก 2 เมตรเพื่อฝังสายเทอร์โมคัปเปิ้ล

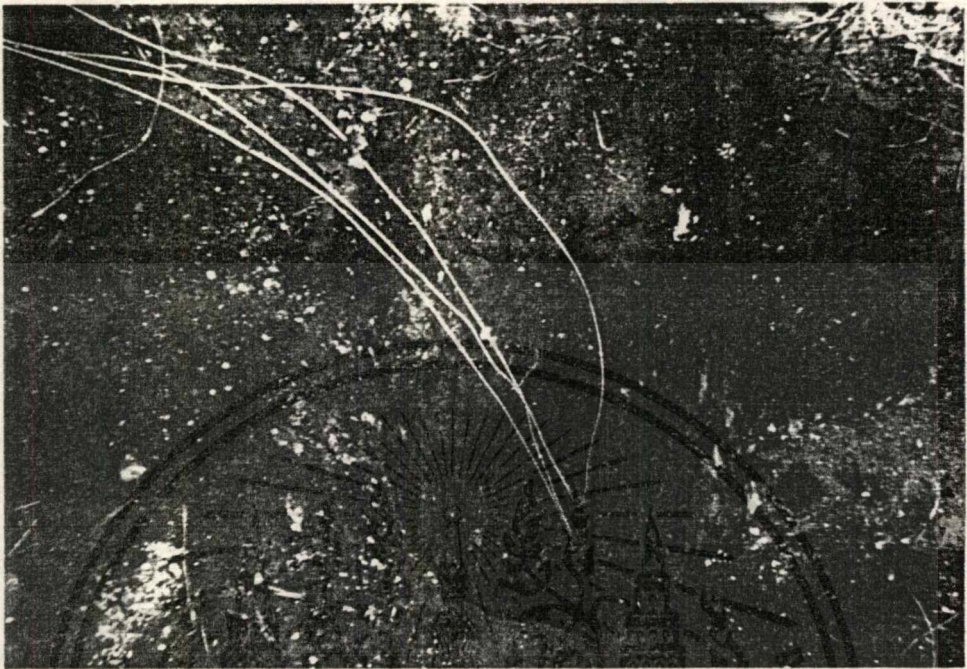
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 นำสายเทอร์โมคัปเปิ้ลติดกับแท่งเหล็กเพื่อฝังลงในดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกรูปที่ 4.7 ฝังแท่งเหล็กพร้อมกับสายเทอร์โมคัปเปิ้ลฝังลงในดิน ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ฝังแท่งเหล็กพร้อมกับสายเทอร์โมคัปเปิ้ลลงในดิน



รูปที่ 4.9 เครื่องบันทึกข้อมูล Data logger ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ฝังไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ได้เฉพาะในวงจำกัดเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเก็บข้อมูลพื้นฐาน

- ติดตั้งเครื่องมือวัดทางอุณหภูมิตามวิชา Starbus ซึ่งสามารถวัดค่าอุณหภูมิอากาศ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ และความเร็วลม ในเวลาเดียวกันไว้ ณ จุดที่ทำกรวัดอุณหภูมิดิน โดยตั้งโปรแกรมให้เก็บข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกับค่าอุณหภูมิดิน

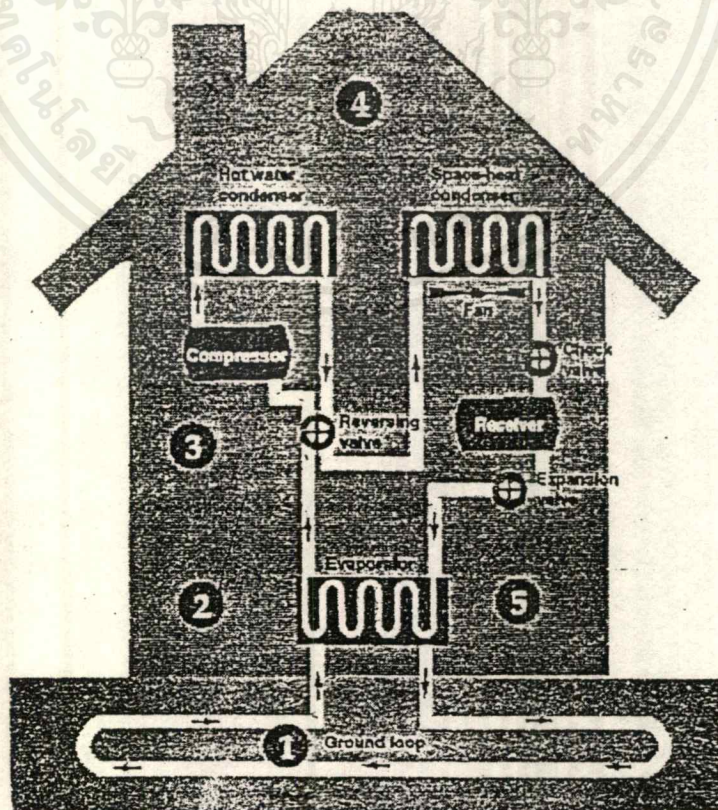
- นำข้อมูลที่เก็บได้มาคำนวณหาค่าอุณหภูมิดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวข้างต้น

- เปรียบข้อมูลจริงกับผลที่ได้จากการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาและเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่จะนำความร้อนจากดินขึ้นมาใช้ประโยชน์หลังจากที่สามารถประมาณอุณหภูมิดินได้แล้ว ซึ่งวิธีการต่างๆที่เป็นไปได้ในการที่จะใช้ประโยชน์จากความร้อนที่เก็บสะสมในดินมี ดังนี้

วิธีการที่ 1 Ground-source Heat Pump

เป็นวิธีการใช้ประโยชน์จากความร้อนใต้ดิน ที่ได้จากเอกสารอ้างอิงที่ [10] ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กันในประเทศเขตนาว ระบบนี้สามารถทำได้ทั้งความร้อนและความเย็นในระบบเดียวกัน ดังรูปที่ 4.10



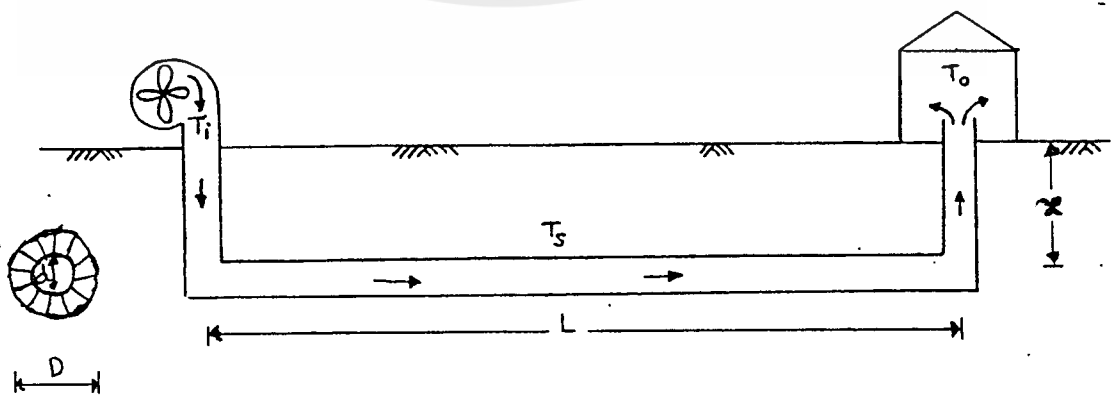
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.10 ระบบ Ground-source Heat Pump [10]
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบมีหลักการทำงานดังนี้

1. ระบบเป็นแบบปิด ฝั่งท่อที่บรรจุของไหลที่สามารถนำความร้อนได้ดี ท่อจะถูกฝังอยู่ตามแนวยาวภายในดิน
2. สำหรับระบบทำความร้อนดังแสดงในรูปที่ 4.10 ของไหลภายในท่อจะดูดความร้อนจากพื้นดินมาถ่ายเทที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ทำหน้าที่เป็น evaporator ซึ่งมันจะถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำความเย็น
3. สารทำความเย็นนี้จะไหลเป็นวงจรปิดในปั๊มทำความร้อนและจะกลายเป็นไอ ซึ่งไอของสารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่ compressor อุณหภูมิและความดันจะสูงขึ้น ;
4. ไอร้อนของสารทำความเย็นจะไปที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอีก 2 เครื่อง ซึ่งทำหน้าที่เป็น condenser เครื่องหนึ่งจะใช้ทำน้ำร้อน และอีกเครื่องหนึ่งจะใช้ทำความร้อนภายในบ้าน ขณะนี้ความร้อนจะถ่ายออกจากสารทำความเย็น ทำให้กลายเป็นของเหลว และกลับมารับความร้อนที่ evaporator อีกครั้งหนึ่ง
5. สำหรับระบบทำความเย็นในฤดูร้อนระบบจะกลับการทำงาน โดยสารทำความเย็นจะดูดความร้อนภายในบ้าน และมาถ่ายเทให้กับดิน

วิธีการที่ 2 Earth to air heat exchanger

เป็นวิธีการใช้ประโยชน์จากความร้อนที่เก็บสะสมอยู่ในดิน โดยใช้การฝังท่อลงในดิน ปลายท่อด้านหนึ่งต่อเข้ากับพัดลมเพื่อเป่าอากาศเข้าไปภายในท่อ อากาศจะถ่ายเทความร้อนให้กับดินในฤดูร้อน และจะรับความร้อนจากดินในฤดูหนาว ส่วนปลายท่ออีกด้านหนึ่งต่อเข้าสู่ภายในบ้าน ดังรูปที่ 4.11 เพื่อลดภาระของระบบปรับอากาศ



รูปที่ 4.11 ระบบ Earth to air heat exchanger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_{\text{air}} = Q_{\text{soil}}$$

$$\dot{m}C_{pa}(T_i - T_o) = LK_R(T_i - T_s)$$

$$K_R = 1 / (R_i + R_1 + R_s) \quad , \quad W/m^2c$$

$$R_i = \text{Internal duct resistance} = 1 / (h_{\alpha_1} \cdot d \cdot \pi)$$

$$R_1 = \text{Duct resistance} = [1 / (2\pi k_d)] \ln D/d$$

$$R_s = \text{Soil resistance}$$

การหาค่า R_s แบ่งเป็น 2 กรณี

$$\text{ถ้า } x/d < 1 \quad R_s = 1 / (2\pi k_s) \ln [2H_s/D + \sqrt{ (H_s/D)^2 - 1 }]$$

$$x/d \geq 1 \quad R_s = [1 / (2\pi k_s)] \ln 4H_s/D$$

$$\text{โดย } H_s = x + 0.0685k_s$$

การหาค่า R_i

$$\text{หา } h_{\alpha_1} \text{ จาก } h_{\alpha_1} = Nu \cdot k / d$$

$$Nu = 0.024 [1 + (L/d)^{-2/\beta}] Re^{0.786} Pr^{0.45}$$

$$R_i = \frac{1}{0.024 [1 + (L/d)^{-2/\beta}] Re^{0.786} Pr^{0.45} \cdot k_s \cdot \pi}$$

$$R_c = \rho v d / \mu$$

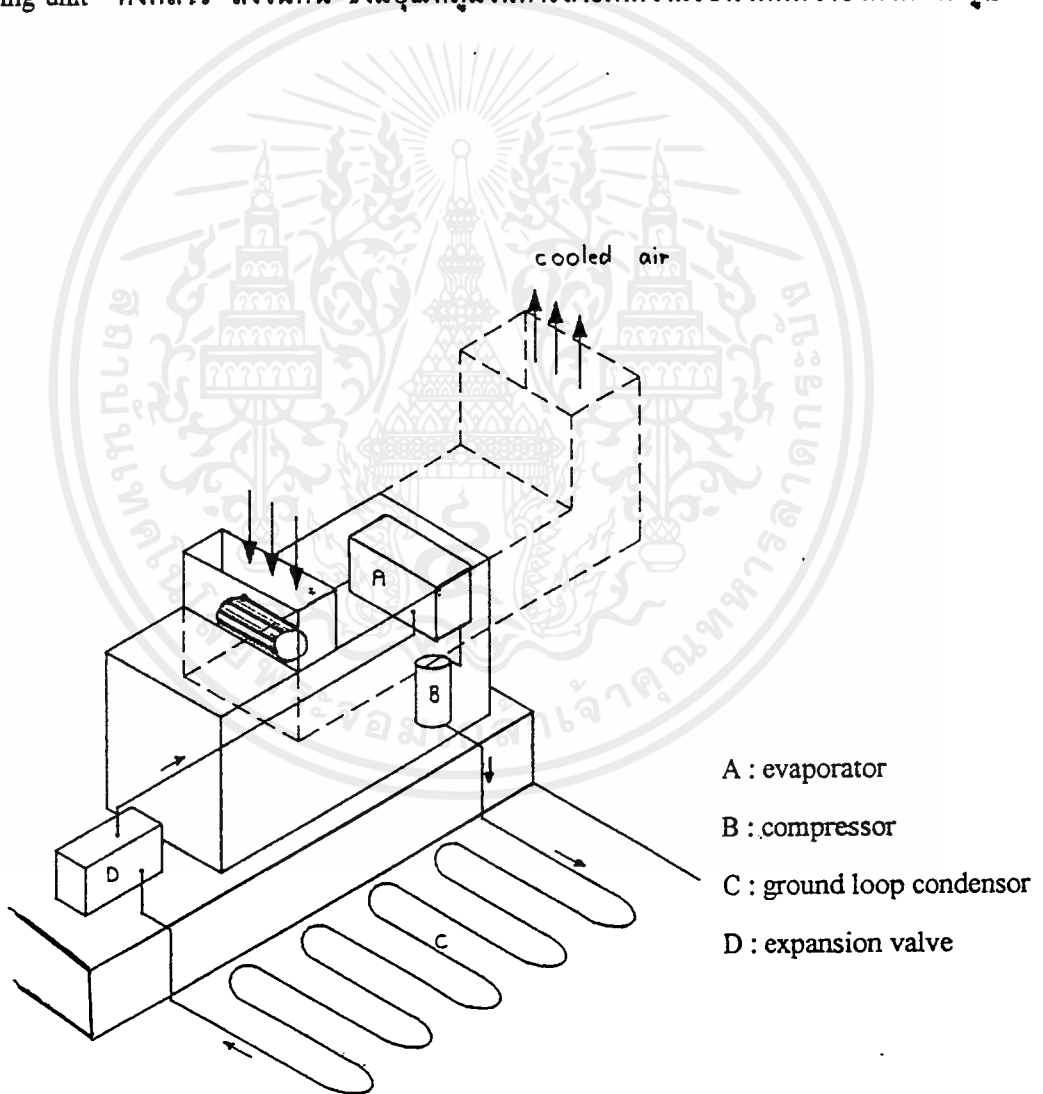
$$Pr = \mu C_{pa} / k$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(T_i - T_o) = \frac{L(T_i - T_s)}{\dot{m}C_{pa} \left[\frac{1}{0.024 \left[1 + \left(\frac{L}{d} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \left(\frac{\rho v d}{\mu} \right)^{0.786} \cdot Pr^{0.45} \cdot k_a \cdot \pi} \right] + \left[\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_d} \cdot \ln \left(\frac{D}{d} \right) \right] + \left[\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_s} \cdot \ln \left(4 \cdot \frac{x + 0.0685 \cdot k_s}{D} \right) \right]}$$

- วิธีการที่ 3 Condensing modify

เป็นวิธีการใช้ประโยชน์จากความร้อนที่เก็บสะสมในดิน โดยการดัดแปลง condensing unit ของระบบปรับอากาศปกติ ให้ถ่ายความร้อนลงสู่ดิน โดยการฝังระบบ condensing unit ดังกล่าว ลงในดิน ซึ่งมีอุณหภูมิในการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าอากาศ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ระบบ Condensing modify [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

5.1 ข้อมูลอุณหภูมิดิน

การเก็บข้อมูลอุณหภูมิดินนั้น ได้ทำการวัดอุณหภูมิดินที่กรุงเทพฯ ในระหว่างวันที่ 21 - 24 พฤศจิกายน 2540 และที่ราชบุรีในระหว่างวันที่ 5 - 7 ธันวาคม 2540 โดยทำการวัดอุณหภูมิดิน 2 สถานะคือ ดินถูกแสงแดด และดินไม่ถูกแสงแดด

ผลการวัดอุณหภูมิดินที่กรุงเทพฯ และที่ราชบุรี เป็นดังตารางที่ 5.1 - 5.4

5.2 การคำนวณอุณหภูมิดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณอุณหภูมิดินนั้น แบ่งออกได้เป็น 4 กรณีคือ

- กรณีที่สภาพพื้นดินเป็นดินแห้งและถูกแสงแดด (Dry sunlit surface)
- กรณีที่สภาพพื้นดินเป็นดินเปียกและถูกแสงแดด (Wet sunlit surface)
- กรณีที่สภาพพื้นดินเป็นดินแห้งและไม่ถูกแสงแดด (Dry shaded surface)
- กรณีที่สภาพพื้นดินเป็นดินเปียกและไม่ถูกแสงแดด (Wet shaded surface)

ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณมีดังนี้

กลุ่มข้อมูลพื้นฐาน

α_0 = absorptivity of solar radiation at the surface

- กรณีดินถูกแสงแดด = 0.6
- กรณีดินไม่ถูกแสงแดด = 0

ϵ = long wave emissivity of the surface = 1

Λ = difference between the long wave radiation and the radiation emitted by a black body at atmospheric air temperature, w/m^2 = 63

กลุ่มข้อมูลดิน

k = thermal conductivity of soil, $\text{w/m} \cdot ^\circ\text{c}$

- ดินที่กรุงเทพฯ = 0.178

- ดินที่ราชบุรี = 0.245

ρ = density of soil, kg/m^3

- ดินที่กรุงเทพฯ = 2134

- ดินที่ราชบุรี = 1138

c = specific heat of soil, $\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{c}$

- ดินที่กรุงเทพฯ = 0.621

- ดินที่ราชบุรี = 0.3169

กลุ่มข้อมูลอากาศ

T_m = hourly ambient temperature, $^\circ\text{c}$

γ = average relative humidity, %

I = hourly solar radiation, w/m^2

v = average wind velocity, m/s

แสดงในภาคผนวก ง.

ผลการคำนวณอุณหภูมิดินที่กรุงเทพฯ วันที่ 21 พฤศจิกายน 2540 เป็นดังตารางที่ 5.5

ผลการคำนวณอุณหภูมิดินที่ราชบุรี วันที่ 5 ธันวาคม 2540 เป็นดังตารางที่ 5.6

5.3 การประมาณค่าอรรถภูมิดินเฉลี่ยรายปี

ในการประมาณค่าอรรถภูมิดินเฉลี่ยรายปีนั้น ได้เลือกใช้วันที่เป็นตัวแทนของแต่ละเดือนตามเอกสารอ้างอิง [12] ดังนี้

ใช้วันที่ 17 เดือนมกราคม

ใช้วันที่ 16 เดือนกุมภาพันธ์

ใช้วันที่ 16 เดือนมีนาคม

ใช้วันที่ 15 เดือนเมษายน

ใช้วันที่ 15 เดือนพฤษภาคม

ใช้วันที่ 11 เดือนมิถุนายน

ใช้วันที่ 17 เดือนกรกฎาคม

ใช้วันที่ 16 เดือนสิงหาคม

ใช้วันที่ 15 เดือนกันยายน

ใช้วันที่ 15 เดือนตุลาคม

ใช้วันที่ 14 เดือนพฤศจิกายน

ใช้วันที่ 10 เดือนธันวาคม

สำหรับค่ารังสีดวงอาทิตย์นั้น เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา มีความคลาดเคลื่อนและผิดไปจากความเป็นจริงมาก จึงได้แก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้กล่าวไว้ในเอกสารอ้างอิงที่ [18]

ผลการประมาณค่าอรรถภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่จังหวัดต่างๆ เป็น ดังตารางที่ 5.7-5.9

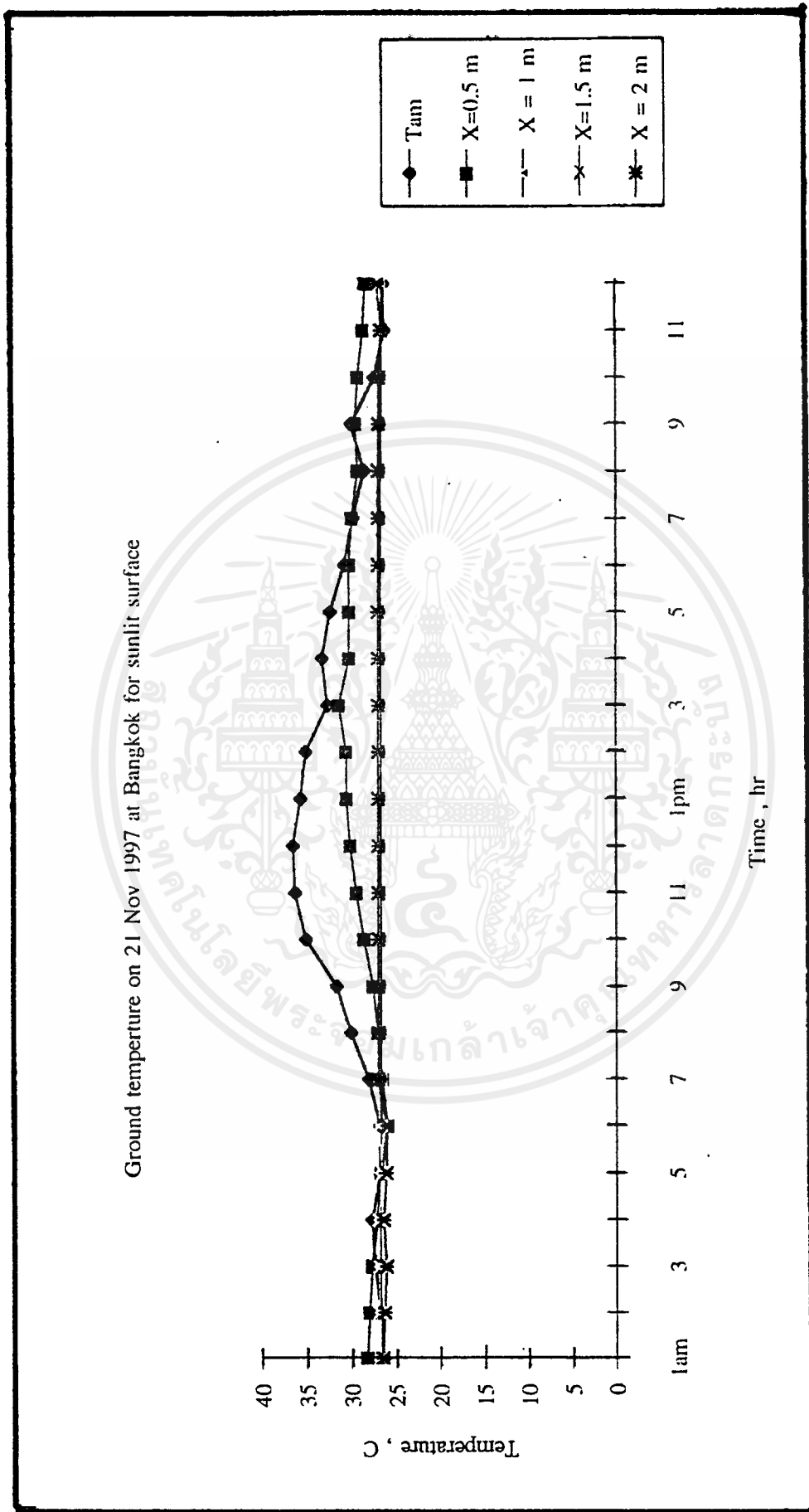
ตารางที่ 5.1 อุณหภูมิดินที่กรุงเทพฯ ในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2540 กรณีดินถูกแสงแดด

Ground temperature variation with depth and time at sunlit surface on 21 Nov 97 , C

Tam	X = 0 m	X = 0.5 m	X = 1 m	X = 1.5 m	X = 2 m	
1am	26.41	25.23	28.25	26.68	26.79	26.51
2	26.76	26.12	28.01	26.72	26.89	26.29
3	27.35	26.84	27.7	26.78	26.91	26.09
4	27.71	27.54	27.12	26.85	26.97	26.41
5	26.82	28.27	26.66	26.78	26.56	26.08
6	26.82	28.86	25.95	26.71	26.97	26.02
7	28.06	29.45	26.57	26.67	26.9	26.98
8	30.06	30.12	27.01	26.66	26.86	26.95
9	31.65	30.52	27.55	26.63	26.84	26.94
10	35.06	32.76	28.53	26.66	26.82	26.96
11	36.24	35.24	29.41	26.66	26.85	26.96
12	36.53	35.58	30.08	26.64	26.83	26.95
1pm	35.65	37.23	30.51	26.64	26.83	26.95
2	35.06	38.21	30.56	26.64	26.81	26.96
3	32.65	36.69	31.31	26.66	26.83	26.96
4	33.24	34.26	30.18	26.65	26.84	26.97
5	32.35	32.54	30.2	26.67	26.83	26.99
6	30.71	32.01	30.17	26.67	26.84	26.97
7	29.76	31.25	29.89	26.67	26.84	26.97
8	28.47	29.66	29.19	26.64	26.83	26.94
9	29.94	27.28	29.47	26.62	26.8	26.9
10	27.35	27.36	29.19	26.55	26.76	26.84
11	26.18	27.21	28.59	26.56	26.71	26.6
12	26.35	26.95	28.35	26.72	26.69	26.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 อุณหภูมิดินที่กรุงเทพฯ ในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2540 กรณีดินถูกแสงแดด

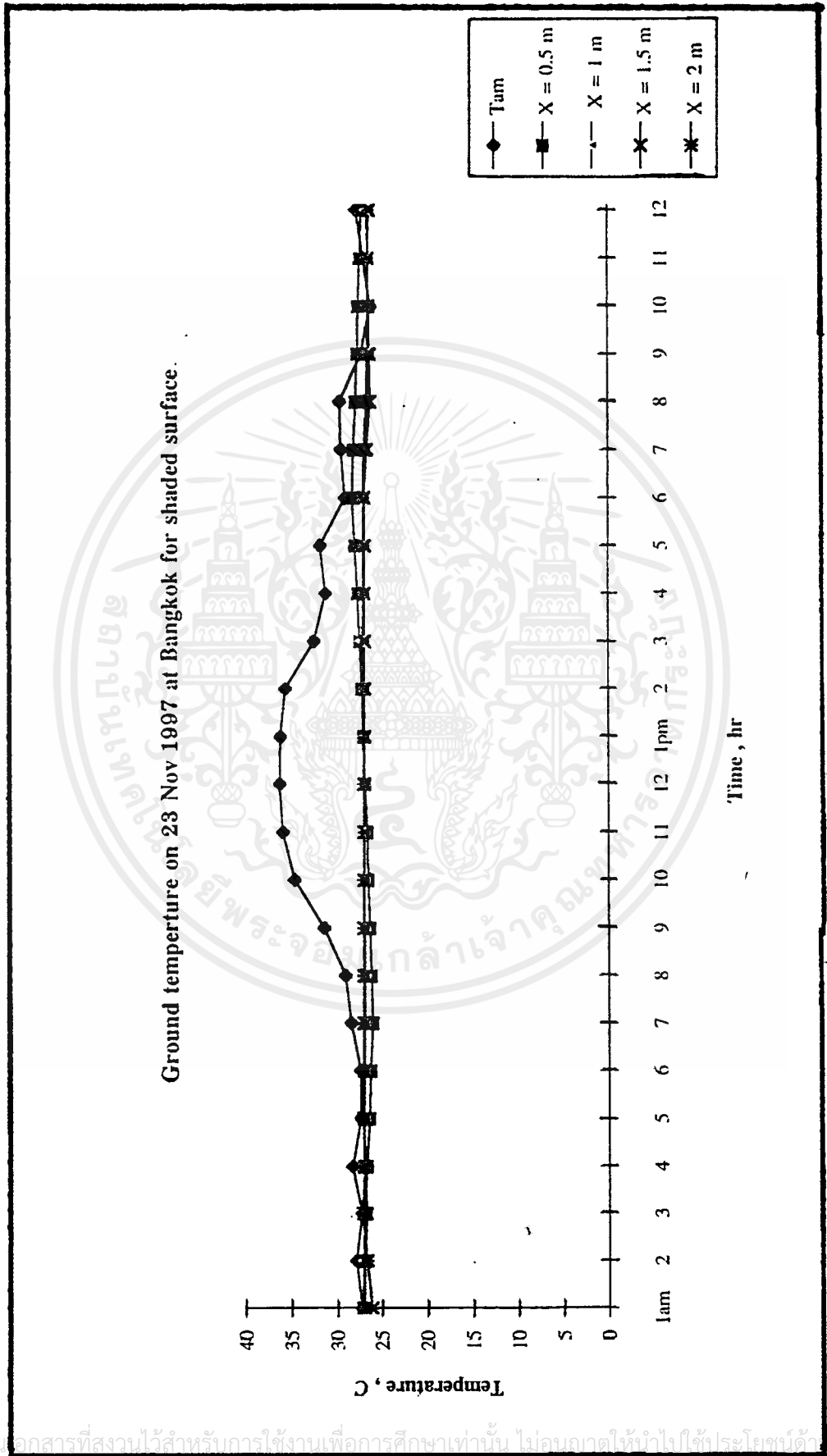
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 อุณหภูมิดินที่กรุงเทพฯ ในวันที่ 23 พฤศจิกายน 2540 กรณีดินไม่ถูกแสงแดด

Ground temperature variation with depth and time at shaded surface on 23 Nov 97 , C

	Tam	X = 0 m	X=0.5 m	X=1 m	X=1.5 m	X = 2 m
1am	27.24	24.28	27.12	26.91	26.93	26.1
2	27.88	25.69	27.05	26.95	26.97	26.64
3	27.24	26.51	26.92	26.6	26.76	27.15
4	28.24	27.48	26.6	26.94	26.96	26.89
5	27.35	28.65	26.35	26.91	26.91	27.05
6	27.35	27.21	26.2	26.89	26.89	27.01
7	28.41	28.65	25.95	26.86	26.86	27
8	29	28.98	26.09	26.85	26.83	26.98
9	31.35	30.57	26.22	26.85	26.85	26.98
10	34.59	31.28	26.42	26.85	26.84	26.98
11	35.88	31.56	26.53	26.85	26.84	26.97
12	36.23	32.47	26.78	26.86	26.84	26.98
1pm	36.12	32.54	26.99	26.87	26.83	26.98
2	35.59	31.15	27.19	26.84	26.83	26.98
3	32.41	32.04	27.38	27.1	26.83	26.97
4	31.18	30.48	27.63	26.85	26.84	26.96
5	31.76	29.56	27.9	26.85	26.83	26.97
6	29	28.17	28.19	26.85	26.84	26.98
7	29.47	27.55	28.04	26.82	26.58	26.9
8	29.59	27.48	27.8	26.62	26.21	26.59
9	27.18	26.36	27.61	26.48	26.26	26.43
10	26.18	25.33	27.51	26.53	26.37	26.41
11	26.94	25.87	27.33	26.38	26.49	26.49
12	27.76	26.01	27.15	26.56	26.35	26.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 อุณหภูมิดินที่กรุงเทพมหานคร ในวันที่ 23 พฤศจิกายน 2540 กรณีดินไม่ถูกแสงแดด

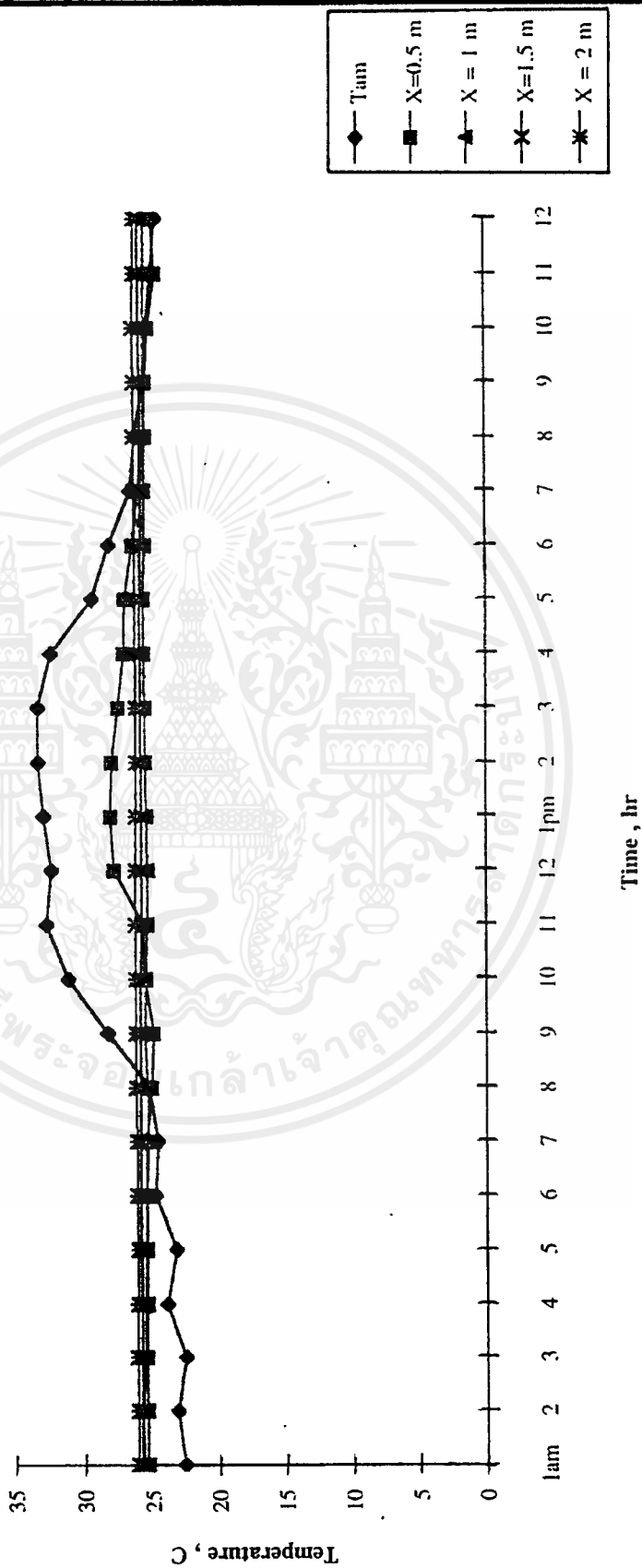
ตารางที่ 5.3 อุณหภูมิดินที่ราชบุรีในวันที่ 5 ธันวาคม 2540 กรณีดินถูกแสงแดด

Ground temperature variation depth and time at sunlit surface on 5 Dec 97, C

Tam	X = 0 m	X = 0.5 m	X = 1 m	X = 1.5 m	X = 2 m	
1am	22.54	23.27	25.66	25.36	25.78	26.08
2	23.09	23.11	25.76	25.41	25.79	26.11
3	22.47	23.03	25.51	25.43	25.77	26.13
4	23.85	22.74	25.47	25.38	25.78	26.09
5	23.14	22.22	25.38	25.39	25.81	26.05
6	24.71	22.18	25.42	25.42	25.81	26.14
7	24.53	22.35	25.36	25.24	25.84	26.11
8	25.15	23.02	24.97	25.31	25.82	26.16
9	28.23	23.37	24.84	25.46	25.82	26.18
10	31.06	24.79	25.48	25.39	25.79	26.18
11	32.64	26.38	25.63	25.31	25.71	26.21
12	32.29	28.77	27.72	25.27	25.73	26.17
1pm	32.82	31.46	27.98	25.35	25.68	26.14
2	33.23	33.98	27.86	25.42	25.72	26.08
3	33.23	34.75	27.41	25.41	25.73	26.08
4	32.29	36.04	26.96	25.49	25.77	26.12
5	29.29	33.96	26.88	25.53	25.76	26.15
6	28.05	31.26	26.32	25.39	25.74	26.13
7	26.47	30.22	25.87	25.45	25.68	26.19
8	26.12	28.79	25.45	25.37	25.71	26.24
9	25.41	26.72	25.34	25.44	25.73	26.22
10	25.24	24.86	25.11	25.46	25.81	26.28
11	24.88	23.24	24.56	25.41	25.83	26.19
12	24.53	23.56	24.86	25.45	25.85	26.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ ในเพื่อกรรกรกรเท่านั้น เมื่อผู้ดูเห็น ใบใช้ประโยชน์การคำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ground temperature on 5 Dec 1997 at Ratchaburi for sunlit surface



รูปที่ 5.3 อุณหภูมิดินที่ราชบุรีในวันที่ 5 ธันวาคม 2540 กรณีดินถูกแสงแดด

ตารางที่ 5.4 อุณหภูมิดินที่ราชบุรีในวันที่ 7 ธันวาคม 2540 กรณีดินไม่ถูกแสงแดด

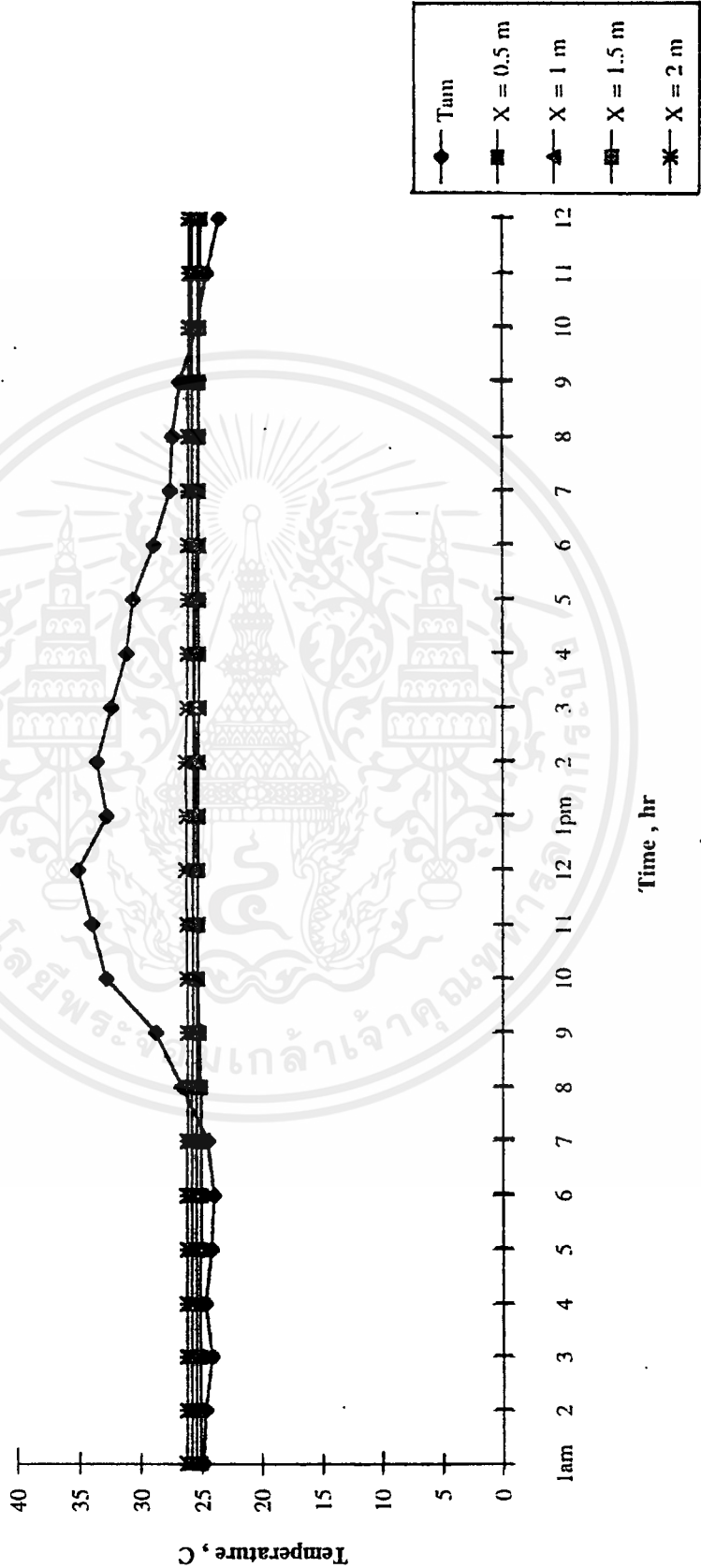
Ground temperature variation depth and time at shaded surface on 7 Dec 97 , C

Tam	X = 0 m	X = 0.5 m	X = 1 m	X = 1.5 m	X = 2 m	
1am	24.88	23.74	25.1	25.47	25.84	26.26
2	24.71	23.55	25.11	25.47	25.84	26.26
3	24.17	23.31	25.11	25.46	25.84	26.25
4	24.71	23.05	25.19	25.5	25.86	26.27
5	24.18	22.8	25.1	25.49	25.86	26.26
6	24	22.67	25.07	25.48	25.87	26.27
7	24.53	22.58	25.05	25.5	25.85	26.27
8	26.65	22.85	25.12	25.46	25.83	26.23
9	28.82	23.15	25.21	25.45	25.82	26.22
10	32.82	24.48	25.34	25.42	25.78	26.25
11	34	25.84	25.37	25.37	25.77	26.26
12	35.12	27.83	25.41	25.35	25.76	26.34
1pm	32.8	29.41	25.47	25.29	25.74	26.31
2	33.58	30.46	25.48	25.29	25.72	26.37
3	32.41	32.15	25.63	25.24	25.73	26.25
4	31.18	31.14	25.6	25.25	25.73	26.23
5	30.65	30.61	25.53	25.25	25.75	26.18
6	28.98	29.23	25.46	25.28	25.8	26.22
7	27.66	27.98	25.39	25.32	25.81	26.18
8	27.45	26.47	25.31	25.32	25.82	26.16
9	26.86	24.36	25.27	25.36	25.86	26.16
10	25.47	24.02	25.24	25.37	25.84	26.14
11	24.63	24.04	25.19	25.37	25.83	26.09
12	23.57	23.74	25.12	25.38	25.82	26.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานที่ออกเอกสารนี้ ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ground temperature on 7 Dec 1997 at Ratchaburi for shaded surface



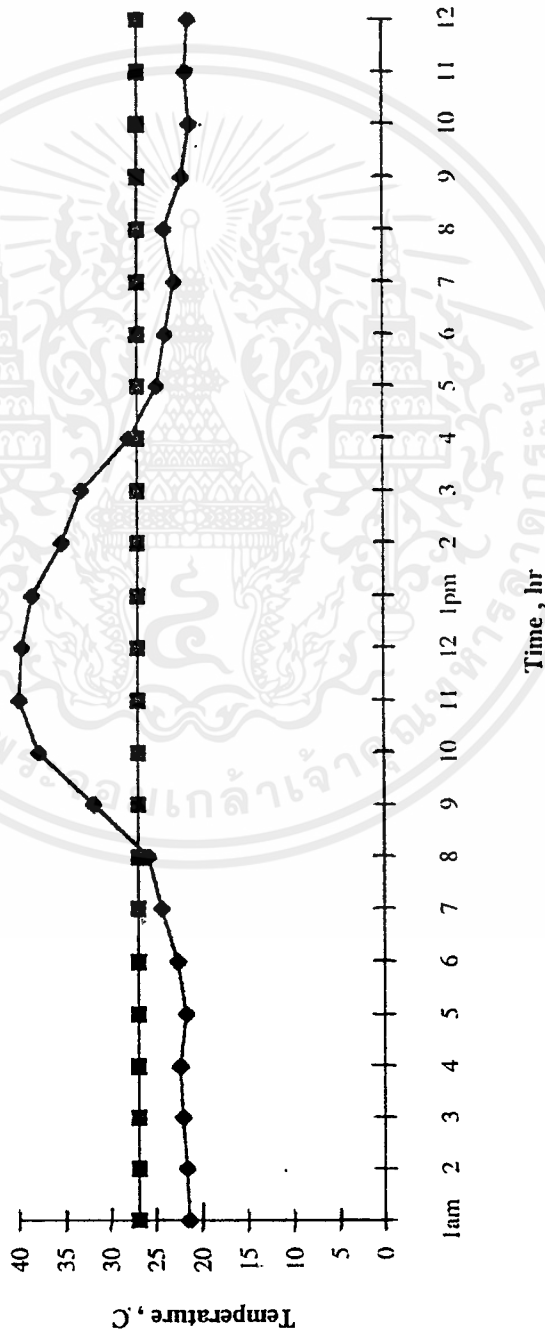
รูปที่ 5.4 อุณหภูมิดินที่ราชบุรี ในวันที่ 7 ธันวาคม 2540 กรณีดินไม่ถูกแสงแดด

ตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินที่กรุงเทพฯ ในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2540

Ground Temp. 21 Nov 1997 Bangkok Sunlit, C					
	Tam	X=0.5 m	X =1 m	X=1.5 m	X= 2 m
1am	21.29	26.89	26.89	26.89	26.89
2	21.54	26.89	26.89	26.89	26.89
3	21.97	26.89	26.89	26.89	26.89
4	22.24	26.88	26.89	26.89	26.89
5	21.59	26.88	26.89	26.89	26.89
6	22.5	26.88	26.89	26.89	26.89
7	24.24	26.88	26.89	26.89	26.89
8	25.68	26.88	26.89	26.89	26.89
9	31.78	26.88	26.89	26.89	26.89
10	37.73	26.88	26.89	26.89	26.89
11	39.81	26.88	26.89	26.89	26.89
12	39.54	26.88	26.89	26.89	26.89
1pm	38.42	26.89	26.89	26.89	26.89
2	35.16	26.89	26.89	26.89	26.89
3	33.07	26.89	26.89	26.89	26.89
4	27.78	26.89	26.89	26.89	26.89
5	24.71	26.89	26.89	26.89	26.89
6	23.74	26.9	26.89	26.89	26.89
7	22.8	26.9	26.89	26.89	26.89
8	23.87	26.9	26.89	26.89	26.89
9	21.97	26.9	26.89	26.89	26.89
10	21.12	26.9	26.89	26.89	26.89
11	21.54	26.89	26.89	26.89	26.89
12	21.24	26.89	26.89	26.89	26.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ground Temperature on 21 Nov 1997 at Bangkok for Sunlit Surface



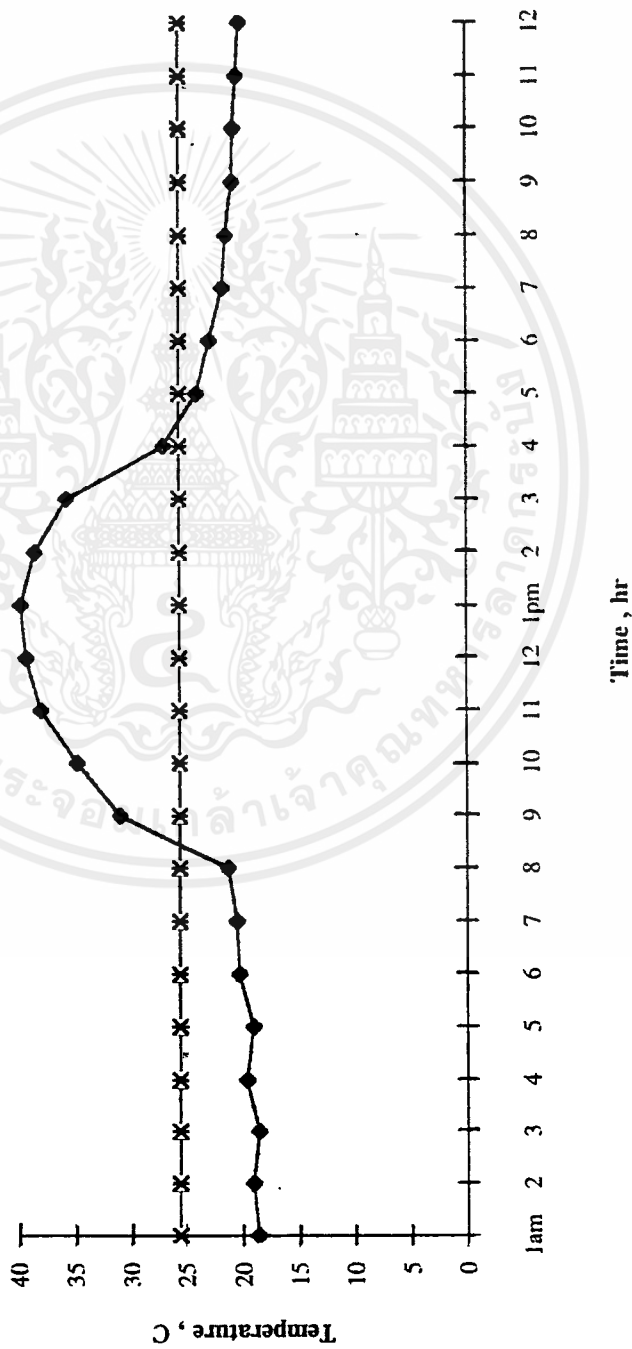
รูปที่ 5.5 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินที่กรุงเทพมหานคร วันที่ 21 พฤศจิกายน 2540

ตารางที่ 5.6 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินที่ราชบุรี วันที่ 5 ธันวาคม 2540

Ground Temp. 5 Dec 1997 Ratchaburi Sunlit, C					
	Tam	X=0.5 m	X=1 m	X=1.5 m	X= 2 m
1am	18.59	25.51	25.51	25.51	25.51
2	19.01	25.51	25.51	25.51	25.51
3	18.53	25.5	25.51	25.51	25.51
4	19.6	25.5	25.51	25.51	25.51
5	19.05	25.5	25.51	25.51	25.51
6	20.27	25.5	25.51	25.51	25.51
7	20.43	25.5	25.51	25.51	25.51
8	21.2	25.5	25.51	25.51	25.51
9	30.94	25.5	25.51	25.51	25.51
10	34.77	25.5	25.51	25.51	25.51
11	37.95	25.5	25.51	25.51	25.51
12	39.24	25.5	25.51	25.51	25.51
1pm	39.73	25.5	25.51	25.51	25.51
2	38.48	25.51	25.51	25.51	25.51
3	35.7	25.51	25.51	25.51	25.51
4	26.93	25.51	25.51	25.51	25.51
5	23.96	25.51	25.51	25.51	25.51
6	22.83	25.51	25.51	25.51	25.51
7	21.62	25.51	25.51	25.51	25.51
8	21.35	25.51	25.51	25.51	25.51
9	20.8	25.51	25.51	25.51	25.51
10	20.67	25.51	25.51	25.51	25.51
11	20.39	25.51	25.51	25.51	25.51
12	20.12	25.51	25.51	25.51	25.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

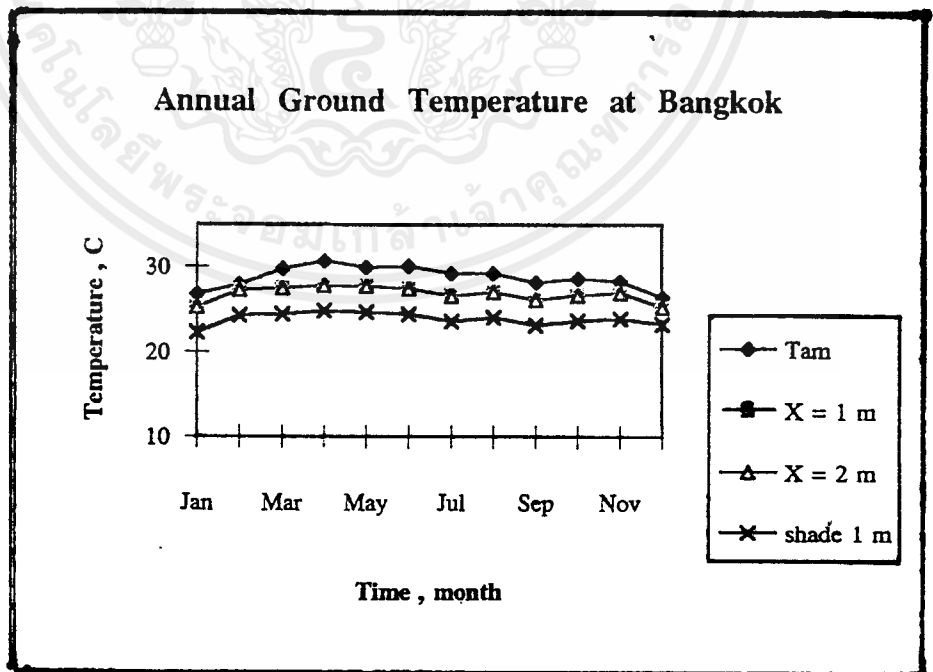
Ground Temperature on 5 Dec 1997 at Ratchaburi for Sunlit Surface



รูปที่ 5.6 ผลการคำนวณอุณหภูมิผิวนิวตริ วันที่ 5 ธันวาคม 2540

ตารางที่ 5.7 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่กรุงเทพฯ

Annual Ground Temp. at Bangkok , C				
	Tam	X = 1 m	X = 2 m	shade 1 m
Jan	26.73	25.16	25.16	22.16
Feb	27.81	27.14	27.14	24.14
Mar	29.67	27.34	27.34	24.34
Apr	30.57	27.72	27.72	24.72
May	29.85	27.59	27.59	24.59
Jun	30.00	27.32	27.32	24.32
Jul	29.17	26.49	26.49	23.49
Aug	29.13	26.93	26.93	23.93
Sep	28.10	26.02	26.02	23.02
Oct	28.50	26.57	26.57	23.57
Nov	28.20	26.81	26.81	23.81
Dec	26.30	25.15	25.15	23.15

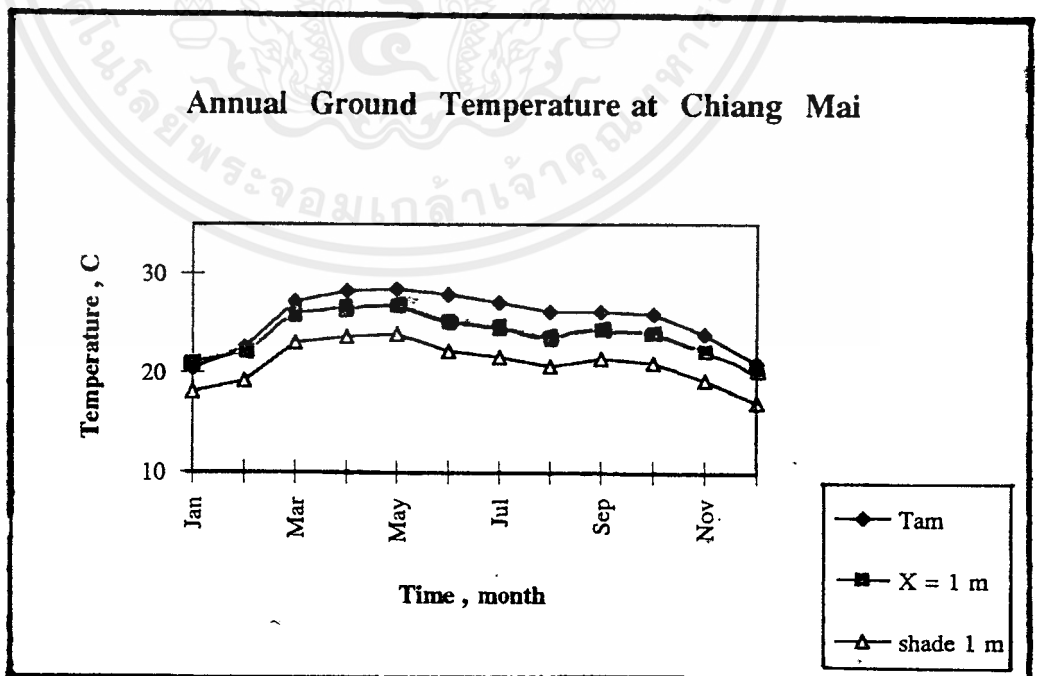


รูปที่ 5.7 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่เชียงใหม่

Annual Ground Temp. at Chiang Mai , C			
	Tam	X = 1 m	shade 1 m
Jan	20.4	21.03	18.03
Feb	22.5	22.14	19.14
Mar	27.2	26.01	23.01
Apr	28.2	26.60	23.6
May	28.4	26.86	23.86
Jun	27.9	25.20	22.20
Jul	27.1	24.61	21.61
Aug	26.2	23.69	20.69
Sep	26.2	24.42	21.42
Oct	25.9	23.96	20.96
Nov	23.9	22.24	19.24
Dec	21	20.06	17.06

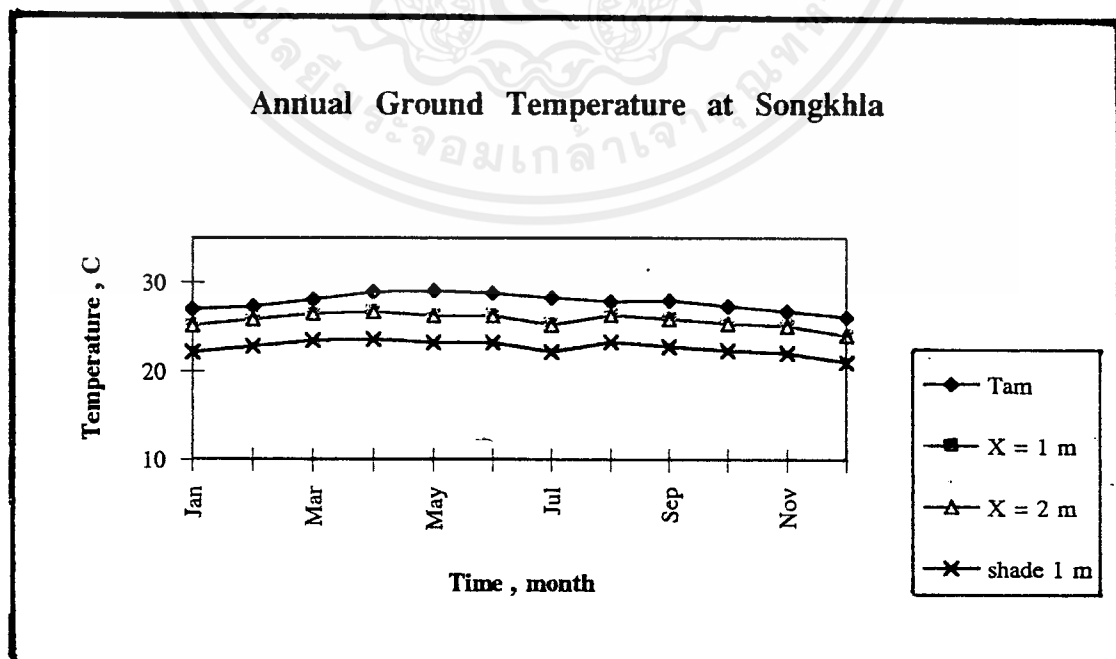


รูปที่ 5.8 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่เชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่สงขลา

Annual Ground Temp. at Songkhla , C				
	Tam	X = 1 m	X = 2 m	shade 1 m
Jan	26.9	25.11	25.11	22.11
Feb	27.2	25.77	25.77	22.77
Mar	28	26.40	26.40	23.4
Apr	28.9	26.59	26.59	23.59
May	29	26.20	26.20	23.2
Jun	28.7	26.21	26.21	23.21
Jul	28.2	25.18	25.18	22.18
Aug	27.8	26.27	26.27	23.27
Sep	27.9	25.79	25.79	22.79
Oct	27.3	25.32	25.32	22.32
Nov	26.7	25.05	25.05	22.05
Dec	26	24.00	24.00	21



รูปที่ 5.9 ผลการคำนวณอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่สงขลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลได้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์.

1. การออกแบบระบบ Earth to air heat exchanger

จากการศึกษาข้อมูลพบว่าวิธี Earth to air heat exchanger เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดใน 3 วิธีเพราะว่าเป็นวิธีที่ลงทุนไม่มาก ,การทำงานของระบบไม่ซับซ้อน

จากสมการ

$$(T_i - T_o) = \frac{L(T_i - T_s)}{\dot{m}C_{pa} \left[\frac{1}{0.024 \left[1 - \left(\frac{L}{d} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \left(\frac{\rho v d}{\mu} \right)^{0.736} \cdot Pr^{0.45} \cdot k_a \cdot \pi} \right] + \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_d} \right) \cdot \ln \left(\frac{D}{d} \right) \right] + \left[\left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_s} \right) \cdot \ln \left(4 \cdot \frac{x + 0.0685 \cdot k_s}{D} \right) \right]}$$

กำหนด $T_i = 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_{pa} = 1007.4 \text{ J/kg} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}$
 $T_o = T_s = 26 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $k_s = 27.11 \times 10^{-3} \text{ w/m} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}$
 $v = 1.2 \text{ m/s}$, $Pr = 0.703$
 $\rho = 1.1248 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 19.12 \times 10^{-6} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$
 $k_a(\text{เหล็ก}) = 80.2 \text{ W/m} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}$, $k_d(\text{ดิน}) = 0.2 \text{ W/m} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}$

เลือกใช้ท่อเหล็กขนาด 3 นิ้ว

$$D = 0.0762 \text{ m} , d = 0.0722 \text{ m}$$

แทนค่าลงในสมการข้างต้น

$$\text{โดย } \dot{m} = \rho v \pi d^2 / 4$$

จะได้ความยาวท่อ $L = 22$ เมตร

ท่อ 1 เส้นยาว 6 ft

เพราะฉะนั้นเลือกใช้ท่อ 5 เส้น

ท่อ 1 เส้นราคา 640 บาท

เพราะฉะนั้นท่อ 5 เส้นราคา 3200 บาท

เพราะว่าความเร็วที่ใช้น้อยมาก Loss ที่เกิดขึ้นภายในท่อจึงประมาณเป็นศูนย์ได้

เลือกใช้พัดลมขนาด 0.5 hp

2. การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

กำหนดให้ระบบทำงาน 8 ชั่วโมง ต่อ 1 วัน

-ระบบปรับอากาศปกติขนาด 1 ตัน

$$\text{-ราคาติดตั้ง} = 25,000 \text{ บาท}$$

$$\text{-ราคาค่าไฟ} = 4,200 \text{ บาท/ปี}$$

-ระบบ Earth to air heat exchanger

$$\text{-ราคาติดตั้ง} = \text{ราคาท่อ} + \text{ราคาพัดลม} + \text{ราคาติดตั้ง} + \text{อื่นๆ}$$

$$= 15,000 \text{ บาท}$$

$$\text{-ราคาค่าไฟ} = 0.5 \text{ hp} \times 0.746 \text{ kw/hp} \times 8 \text{ hr/วัน} \times 365 \text{ วัน/ปี} \times 2 \text{ บาท/kw.hr}$$

$$= 2180 \text{ บาท/ปี}$$

ถ้าเราเลือกใช้ระบบ Earth to air heat exchanger

$$\text{จะประหยัดค่าไฟได้} = 4200 - 2180$$

$$= 2020 \text{ บาท/ปี}$$

-การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{เงินลงทุน} / \text{ผลตอบแทนสุทธิ}$$

$$= 15,000 \text{ บาท} / 2020 \text{ บาท/ปี}$$

$$= 7.5 \text{ ปี}$$

ระบบปรับอากาศปกติ		ระบบ Earth to air heat exchanger	
ราคาติดตั้ง	ค่าไฟบาท/ปี	ราคาติดตั้ง	ค่าไฟบาท/ปี
25,000	4,200	15,000	2,020

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

1. ผลที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่าอุณหภูมิของอากาศจะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากในรอบ 1 วัน แต่จะเห็นว่าที่ความลึกตั้งแต่ 1 เมตรลงไปอุณหภูมิดินจะเปลี่ยนแปลงน้อยลงสำหรับที่กรุงเทพมหานครได้ประมาณ $26-27^{\circ}\text{C}$ สำหรับที่ราชบุรีวัดได้ประมาณ $25-26^{\circ}\text{C}$

2. อุณหภูมิดินที่ความลึกตั้งแต่ 1 เมตรลงไปจากการวัดจริงจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิดินที่ได้จากการคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้สามารถใช้แทนการวัดอุณหภูมิจริงได้

3. ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิอากาศแตกต่างกันมาก เช่นที่ ราชบุรี พบว่าอุณหภูมิดินจะคงที่ตลอดปี ที่ความลึกประมาณ 2 เมตรลงไปจึงควรฝังท่อที่ความลึก 2 เมตรลงไป และสำหรับพื้นที่ที่มีอุณหภูมิอากาศแตกต่างกันน้อย เช่นที่ กรุงเทพฯ พบว่าอุณหภูมิดินจะคงที่ตลอดปี ที่ความลึกประมาณ 1 เมตรลงไปจึงควรฝังท่อที่ความลึก 1 เมตรลงไป

4. สำหรับแนวทางการใช้ประโยชน์สูงสุดจากการนำความร้อนจากดินขึ้นมาใช้ทำได้โดยเลือกใช้พื้นที่ที่ไม่ถูกแสงแดด (Shaded surface) ซึ่งอุณหภูมิดินจะต่ำกว่า อุณหภูมิดินของพื้นที่ที่ถูกแสงแดด (Sunlit surface) พอสมควรทำให้ความร้อนถ่ายเทจากบ้านเรือนสู่ดินได้มากขึ้น

5. จากการเปรียบเทียบราคาติดตั้ง และราคาค่าไฟในการทำงานของระบบปรับอากาศปกติ และระบบ Earth to air heat exchanger พบว่าระบบ Earth to air heat exchanger จะประหยัดกว่า

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. โปรแกรมที่ใช้งานเพื่อทำนาขออนุมัติดินที่ความลึกต่างๆ ยังมีการใช้งานค่อนข้างยุ่งยากอยู่ หากมีการพัฒนาตัวโปรแกรมก็จะทำให้การใช้งานสะดวกขึ้น
2. จากการศึกษาที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำความร้อนจากดินขึ้นมาใช้ หากมีการนำระบบนี้มาใช้แทนเครื่องปรับอากาศที่ใช้กันอยู่ ก็จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้



ภาคผนวก ก.

Program Mathcad for Engineering

เป็นโปรแกรมที่สามารถคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และสมการที่มีรูปแบบซับซ้อนได้เป็นอย่างดี พร้อมทั้งสามารถสั่งให้แสดงผลลัพธ์จากการคำนวณเป็นรูปแบบต่างๆ ได้ตามต้องการ

ความสามารถโดยทั่วไปของ Mathcad

โปรแกรม mathcad ที่ใช้นี้ เป็น โปรแกรม Mathcad Version 6.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกสร้างให้สามารถใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ มีความยืดหยุ่นต่อการใช้งานในด้านต่างๆ ดังนี้

1. โปรแกรม Mathcad เป็นเหมือนกับกระดาษที่สามารถบันทึกงานต่างๆทางคณิตศาสตร์ได้ เช่น กราฟ สมการ เป็นต้น
2. โปรแกรม Mathcad สามารถสั่งพิมพ์เพิ่มเอกสาร หรือสั่งพิมพ์คำอธิบายประกอบรูปภาพ หรือสมการ และกราฟต่างๆ ได้
3. โปรแกรม mathcad สามารถแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่สลับซับซ้อนได้ เช่น การอินทิเกรต เมตริกซ์หรือสมการทั่วไปได้

ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม mathcad

โปรแกรม mathcad จะเรียงลำดับการทำงานจากบนลงล่าง และจากซ้ายไปขวา ฉะนั้นการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆที่ต้องใช้ในสมการ จึงควรกำหนดไว้ด้านบนหรือด้านซ้ายก่อนที่จะถึงตัวสมการหลักที่ใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์เสมอ เมื่อมีการเรียงลำดับตัวแปรหรือกำหนดค่าตัวแปรไม่ถูกต้อง หรือเกิดความผิดพลาดอย่างหนึ่งอย่างใดขึ้น โปรแกรมจะไม่สามารถทำการคำนวณได้ และจะแสดงสาเหตุและตำแหน่งของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในโปรแกรมให้เห็น เพื่อให้สามารถแก้ไขได้อย่างถูกต้อง

Parameters used in program

v	= wind velocity	m/s
h	= heat transfer coefficient at the soil surface	$w/m^2 \cdot ^\circ C$
α_0	= absorptivity of solar radiation at the surface	
ϵ	= long wave emissivity of the surface	
Δ	= difference between the long wave radiation and the radiation emitted by a black body at atmospheric air temperature	w/m^2
I	= intensity of solar radiation	w/m^2
T_m	= ambient temperature	$^\circ C$
R_1	= constant in the expansion of saturated water vapour pressure	$N/m^2 \cdot ^\circ C$
R_2	= constant in the expansion of saturated water vapour pressure	N/m^2
H	= effective heat transfer coefficient	$w/m^2 \cdot ^\circ C$
γ	= relative humidity	%
T_A	= sol - air temperature	$^\circ C$
k	= thermal conductivity of soil	$w/m \cdot ^\circ C$
ρ	= density of soil	kg/m^3
c	= specific heat of soil	$w/kg \cdot ^\circ C$
x	= soil depth	m
t	= time	hr
T_s	= soil temperature at various depth	$^\circ C$

ภาคผนวก ข.

Soil Temperature Estimator Program for Dry Shaded Surface

Insert properties of soil

c := 0.3169

 $\rho := 2050$

k := 0.51

Insert meteorological data

v := 0

Insert depth

x := 1..2

1	1
0	24.53
0	22.54
0	23.09
28	22.47
32	23.85
44	23.14
98	24.71
108	24.53
124	25.15
175	28.23
146	31.06
I := 102	Tm := 32.64
84	32.29
96	32.82
82	33.23
67	33.23
27	32.29
27	29.29
0	28.05
0	26.47
0	26.12
0	25.41
0	25.24
0	24.88

$$\text{sind}(x) = \sin(x \cdot \text{deg})$$

$$\text{cosd}(x) = \cos(x \cdot \text{deg})$$

1	1	1	1	1	1
15	30	45	60	75	90
30	60	90	120	150	180
45	90	135	180	225	270
60	120	180	240	300	360
75	150	225	300	15	90
90	180	270	360	90	180
105	210	315	60	165	270
120	240	360	120	240	360
135	270	45	180	315	90
150	300	90	240	30	180
165	330	135	300	105	270
180	360	180	360	180	360
195	30	225	60	255	90
210	60	270	120	330	180
225	90	315	180	45	270
240	120	360	240	120	360
255	150	45	300	195	90
270	180	90	360	270	180
285	210	135	60	345	270
300	240	180	120	60	360
315	270	225	180	135	90
330	300	270	240	210	180
345	330	315	300	285	270
360	360	360	360	360	360

$$\alpha_0 := 0$$

$$\varepsilon := 1$$

$$\Lambda := 63$$

$$\mathbf{h} := 5.67 + (3.86 \cdot \mathbf{v})$$

$$\mathbf{b} := 1..24$$

$$\mathbf{TA}_b := \mathbf{Tm}_b - \frac{\varepsilon \cdot \Lambda}{\mathbf{h}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_1 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{1_i})}{12} \quad N_1 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{1_i})}{12}$$

$$M_2 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{2_i})}{12} \quad N_2 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{2_i})}{12}$$

$$M_3 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{3_i})}{12} \quad N_3 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{3_i})}{12}$$

$$M_4 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{4_i})}{12} \quad N_4 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{4_i})}{12}$$

$$M_5 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{5_i})}{12} \quad N_5 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{5_i})}{12}$$

$$M_6 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{6_i})}{12} \quad N_6 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{6_i})}{12}$$

$$a_1 := \sqrt{(M_1)^2 + (N_1)^2} \quad a_2 := \sqrt{(M_2)^2 + (N_2)^2} \quad a_3 := \sqrt{(M_3)^2 + (N_3)^2}$$

$$a_4 := \sqrt{(M_4)^2 + (N_4)^2} \quad a_5 := \sqrt{(M_5)^2 + (N_5)^2} \quad a_6 := \sqrt{(M_6)^2 + (N_6)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega := \frac{2 \cdot \pi}{24}$$

$$\mu = \frac{\left(\frac{k \cdot \rho \cdot c}{2} \right)^{0.5}}{h}$$

$$\alpha = \left(\frac{\omega \cdot \rho \cdot c}{2 \cdot k} \right)^{0.5}$$

$$m = 1..6$$

$$\beta_m = \text{atan} \left[\frac{m^{0.5} \cdot \mu}{(1 + m^{0.5} \cdot \mu)} \right]$$

$$B_m = a_m \cdot \left[(1 + m^{0.5} \cdot \mu)^2 + m \cdot \mu^2 \right]^{-0.5}$$

$$\sigma_m = \text{atan} \left(\frac{N_m}{M_m} \right)$$

$$a_0 := \frac{\sum_{i=1}^{24} TA_i}{24}$$

$$t := 1..24$$

$$Ts_{x,t} := a_0 + \sum_{m=1}^6 B_m \cdot \left(\exp(-1 \cdot m^{0.5} \cdot \alpha \cdot x) \right) \cdot \cos \left[m \cdot \omega \cdot t - \left(m^{0.5} \cdot \alpha \cdot x - \sigma_m - \beta_m \right) \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Soil Temperature Estimator Program for Dry Sunlit Surface

Insert properties of soil

c := 0.3169

ρ = 2050

k := 0.51

Insert meteorological data

v := 0

Insert depth

x := 1..2

1	i
0	26.41
0	26.76
0	27.35
0	27.71
0	26.82
0	28.06
22.4	30.06
44.8	31.65
336	35.06
747.6	36.24
898.8	36.53
I := 929.6	Tm = 35.65
873.6	35.06
753.2	32.65
548.8	33.24
173.6	32.35
22.4	30.71
0	29.76
0	28.47
0	29.94
0	27.35
0	26.18
0	26.76
0	26.35

$$\text{sind}(x) := \sin(x \cdot \text{deg})$$

$$\text{cosd}(x) := \cos(x \cdot \text{deg})$$

	1		1		1		1		1		1
	15		30		45		60		75		90
	30		60		90		120		150		180
	45		90		135		180		225		270
	60		120		180		240		300		360
	75		150		225		300		15		90
	90		180		270		360		90		180
	105		210		315		60		165		270
	120		240		360		120		240		360
	135		270		45		180		315		90
	150		300		90		240		30		180
	165		330		135		300		105		270
$\theta 1 =$	180	$\theta 2 =$	360	$\theta 3 =$	180	$\theta 4 =$	360	$\theta 5 =$	180	$\theta 6 =$	360
	195		30		225		60		255		90
	210		60		270		120		330		180
	225		90		315		180		45		270
	240		120		360		240		120		360
	255		150		45		300		195		90
	270		180		90		360		270		180
	285		210		135		60		345		270
	300		240		180		120		60		360
	315		270		225		180		135		90
	330		300		270		240		210		180
	345		330		315		300		285		270
	360		360		360		360		360		360

$$h := 5.67 + (3.86 \cdot v)$$

$$\alpha_0 := 0.6$$

$$\epsilon := 1$$

$$\Lambda := 63$$

$$b := 1..24$$

$$TA_b := Tm_b + \frac{\alpha_0 \cdot I_b}{h} - \frac{\epsilon \cdot \Lambda}{h}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_1 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{1_i})}{12}$$

$$N_1 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{1_i})}{12}$$

$$M_2 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{2_i})}{12}$$

$$N_2 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{2_i})}{12}$$

$$M_3 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{3_i})}{12}$$

$$N_3 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{3_i})}{12}$$

$$M_4 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{4_i})}{12}$$

$$N_4 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{4_i})}{12}$$

$$M_5 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{5_i})}{12}$$

$$N_5 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{5_i})}{12}$$

$$M_6 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{6_i})}{12}$$

$$N_6 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{6_i})}{12}$$

$$a_1 := \sqrt{(M_1)^2 + (N_1)^2}$$

$$a_2 := \sqrt{(M_2)^2 + (N_2)^2}$$

$$a_3 := \sqrt{(M_3)^2 + (N_3)^2}$$

$$a_4 := \sqrt{(M_4)^2 + (N_4)^2}$$

$$a_5 := \sqrt{(M_5)^2 + (N_5)^2}$$

$$a_6 := \sqrt{(M_6)^2 + (N_6)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega := \frac{2 \cdot \pi}{24}$$

$$\mu := \frac{\left(\frac{k \cdot \rho \cdot c}{2} \right)^{0.5}}{h}$$

$$\alpha := \left(\frac{\rho \cdot c}{2 \cdot k} \right)^{0.5}$$

$$m := 1..6$$

$$\beta_m = \text{atan} \left[\frac{m^{0.5} \cdot \mu}{(1 + m^{0.5} \cdot \mu)} \right]$$

$$B_m = a_m \cdot \left[(1 + m^{0.5} \cdot \mu)^2 + m \cdot \mu^2 \right]^{-0.5}$$

$$\sigma_m = \text{atan} \left(\frac{N_m}{M_m} \right)$$

$$a_0 := \frac{\sum_{i=1}^{24} TA_i}{24}$$

$$t := 1..24$$

$$Ts_{t,x} = a_0 + \sum_{m=1}^6 B_m \cdot (\exp(-1 \cdot m^{0.5} \cdot \alpha \cdot x)) \cdot \cos \left[m \cdot \omega \cdot t - (m^{0.5} \cdot \alpha \cdot x - \sigma_m - \beta_m) \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Soil Temperature Estimator Program for Wet Shaded Surface

Insert properties of soil

 $c := 0.621$ $\rho := 2460$ $k := 1.456$

Insert meteorological data

 $v := 0$ $\gamma := 0.7$

Insert depth

 $x := 1..2$

1	1
0	27.24
0	27.88
0	27.24
0	28.24
0	27.35
1.4	27.35
2.8	28.41
5.4	29
5.6	31.35
5	34.59
5.6	35.88
I := 14	Tm := 36.23
19.6	36.12
11.2	35.59
8	32.41
2.1	31.18
0	31.76
0	29
0	29.47
0	29.59
0	27.18
0	26.18
0	26.94
0	27.76

$$\text{sind}(x) := \sin(x \cdot \text{deg})$$

$$\text{cosd}(x) := \cos(x \cdot \text{deg})$$

$\theta_1 =$	1	1	1	1	1	1
	15	30	45	60	75	90
	30	60	90	120	150	180
	45	90	135	180	225	270
	60	120	180	240	300	360
	75	150	225	300	15	90
	90	180	270	360	90	180
	105	210	315	60	165	270
	120	240	360	120	240	360
	135	270	45	180	315	90
	150	300	90	240	30	180
	165	330	135	300	105	270
	180	360	180	360	180	360
	195	30	225	60	255	90
	210	60	270	120	330	180
	225	90	315	180	45	270
	240	120	360	240	120	360
	255	150	45	300	195	90
	270	180	90	360	270	180
	285	210	135	60	345	270
	300	240	180	120	60	360
	315	270	225	180	135	90
	330	300	270	240	210	180
	345	330	315	300	285	270
	360	360	360	360	360	360

$$R_1 := 249$$

$$R_2 := -3013$$

$$h := 5.67 + (3.86 \cdot v)$$

$$H := h \cdot (1 + 0.013 \cdot R_1)$$

$$b := 1..24$$

$$\alpha_0 := 0$$

$$\varepsilon := 1$$

$$\Lambda := 63$$

$$TA_b := \left[\frac{[h + (0.013 \cdot R_1) \cdot \gamma \cdot h] \cdot Tm_b + \frac{\alpha_0 \cdot I_b}{H}}{H} \right] - \left[\frac{(0.013 \cdot R_2) \cdot h \cdot (1 - \gamma)}{H} \right] - \frac{\Lambda \cdot \varepsilon}{H}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_1 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{1i})}{12}$$

$$N_1 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{1i})}{12}$$

$$M_2 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{2i})}{12}$$

$$N_2 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{2i})}{12}$$

$$M_3 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{3i})}{12}$$

$$N_3 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{3i})}{12}$$

$$M_4 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{4i})}{12}$$

$$N_4 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{4i})}{12}$$

$$M_5 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{5i})}{12}$$

$$N_5 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{5i})}{12}$$

$$M_6 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{6i})}{12}$$

$$N_6 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \text{sind}(\theta_{6i})}{12}$$

$$a_1 := \sqrt{(M_1)^2 + (N_1)^2}$$

$$a_2 := \sqrt{(M_2)^2 + (N_2)^2}$$

$$a_3 := \sqrt{(M_3)^2 + (N_3)^2}$$

$$a_4 := \sqrt{(M_4)^2 + (N_4)^2}$$

$$a_5 := \sqrt{(M_5)^2 + (N_5)^2}$$

$$a_6 := \sqrt{(M_6)^2 + (N_6)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega := \frac{2 \cdot \pi}{24}$$

$$\mu = \frac{\left(\frac{k \cdot \rho \cdot c}{2}\right)^{0.5}}{h}$$

$$\alpha := \left(\frac{\omega \cdot \rho \cdot c}{2 \cdot k}\right)^{0.5}$$

$$m = 1..6$$

$$\beta_m = \text{atan} \left[\frac{m^{0.5} \cdot \mu}{(1 + m^{0.5} \cdot \mu)} \right]$$

$$B_m := a_m \cdot \left[(1 + m^{0.5} \cdot \mu)^2 + m \cdot \mu^2 \right]^{-0.5}$$

$$\sigma_m := \text{atan} \left(\frac{N_m}{M_m} \right)$$

$$a_0 := \frac{\sum_{i=1}^{24} TA_i}{24}$$

$$t := 1..24$$

$$Ts_{t,x} := a_0 + \sum_{m=1}^6 B_m \cdot \left(\exp(-1 \cdot m^{0.5} \cdot \alpha \cdot x) \right) \cdot \cos \left[m \cdot \omega \cdot t - \left(m^{0.5} \cdot \alpha \cdot x - \sigma_m - \beta_m \right) \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Soil Temperature Estimator Program for Wet Sunlit Surface

Insert properties of soil

$$c = 0.621$$

$$\rho = 2460$$

$$k = 1.456$$

Insert meteorological data

$$v := 1$$

$$\gamma := 0.7$$

Insert depth

$$x := 0.1$$

1	1
0	22.54
0	23.09
0	22.47
0	23.85
0	23.14
1	24.71
20.6	24.53
40.2	25.15
536	28.23
647.3	31.06
779.2	32.64
I := 884.4	Tm := 32.29
889.5	32.82
784.4	33.23
596.8	33.23
56	32.29
11.2	29.29
0	28.05
0	26.47
0	26.12
0	25.41
0	25.24
0	24.88
0	24.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{sind}(x) = \sin(x \cdot \text{deg})$$

$$\text{cosd}(x) = \cos(x \cdot \text{deg})$$

$\theta_1 =$	1	1	1	1	1	1
	15	30	45	60	75	90
	30	60	90	120	150	180
	45	90	135	180	225	270
	60	120	180	240	300	360
	75	150	225	300	15	90
	90	180	270	360	90	180
	105	210	315	60	165	270
	120	240	360	120	240	360
	135	270	45	180	315	90
	150	300	90	240	30	180
	165	330	135	300	105	270
	180	360	180	360	180	360
	195	30	225	60	255	90
	210	60	270	120	330	180
	225	90	315	180	45	270
	240	120	360	240	120	360
	255	150	45	300	195	90
	270	180	90	360	270	180
	285	210	135	60	345	270
	300	240	180	120	60	360
	315	270	225	180	135	90
	330	300	270	240	210	180
	345	330	315	300	285	270
	360	360	360	360	360	360

$$R_1 := 249$$

$$\alpha_0 := 0.6$$

$$R_2 := -3013$$

$$\varepsilon := 1$$

$$h := 5.67 + (3.86 \cdot v)$$

$$\Lambda := 63$$

$$H := h \cdot (1 + 0.013 \cdot R_1)$$

$$b := 1..24$$

$$TA_b := \left[\frac{h + (0.013 \cdot R_1) \cdot \gamma \cdot h}{H} \cdot Tm_b + \frac{\alpha_0 \cdot I_b}{H} \right] - \left[\frac{(0.013 \cdot R_2) \cdot h \cdot (1 - \gamma)}{H} \right] - \frac{\Lambda \cdot \varepsilon}{H}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_1 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \cos(\theta 1_i)}{12}$$

$$N_1 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \sin(\theta 1_i)}{12}$$

$$M_2 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \cos(\theta 2_i)}{12}$$

$$N_2 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \sin(\theta 2_i)}{12}$$

$$M_3 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \cos(\theta 3_i)}{12}$$

$$N_3 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \sin(\theta 3_i)}{12}$$

$$M_4 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \cos(\theta 4_i)}{12}$$

$$N_4 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \sin(\theta 4_i)}{12}$$

$$M_5 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \cos(\theta 5_i)}{12}$$

$$N_5 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \sin(\theta 5_i)}{12}$$

$$M_6 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \cos(\theta 6_i)}{12}$$

$$N_6 = \sum_{i=1}^{24} \frac{(TA_i) \cdot \sin(\theta 6_i)}{12}$$

$$a_1 := \sqrt{(M_1)^2 + (N_1)^2}$$

$$a_2 := \sqrt{(M_2)^2 + (N_2)^2}$$

$$a_3 := \sqrt{(M_3)^2 + (N_3)^2}$$

$$a_4 := \sqrt{(M_4)^2 + (N_4)^2}$$

$$a_5 := \sqrt{(M_5)^2 + (N_5)^2}$$

$$a_6 := \sqrt{(M_6)^2 + (N_6)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega := \frac{2 \cdot \pi}{24}$$

$$\mu = \frac{\left(\frac{k \cdot \rho \cdot c}{2} \right)^{0.5}}{h}$$

$$\alpha = \left(\frac{\rho \cdot c}{2 \cdot k} \right)^{0.5}$$

$$m := 1..6$$

$$\beta_m = \text{atan} \left[\frac{m^{0.5} \cdot \mu}{(1 + m^{0.5} \cdot \mu)} \right]$$

$$B_m := a_m \cdot \left[(1 + m^{0.5} \cdot \mu)^2 + m \cdot \mu^2 \right]^{-0.5}$$

$$\sigma_m := \text{atan} \left(\frac{N_m}{M_m} \right)$$

$$a_0 := \frac{\sum_{i=1}^{24} TA_i}{24}$$

$$t := 1..24$$

$$Ts_t := a_0 + \sum_{m=1}^6 B_m \cdot (\exp(-1 \cdot m^{0.5} \cdot \alpha \cdot x)) \cdot \cos \left[m \cdot \omega \cdot t - (m^{0.5} \cdot \alpha \cdot x - \sigma_m - \beta_m) \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

Data Logger Program Setting

*1 A	01 : 900	A
	01 : P17	A
	01 : 1	A
	02 : P14	A
	01 : 6	A
	02 : 2	A
	03 : 1	A
	04 : 3	A
	05 : 1	A
	02 : 2C	A
	07 : 1	A
	08 : 0	A
	03 : -	A
	01 : -	A
	02 : -	A
	03 : -	A
	04 : -	A
	05 : -	A
	06 : -	A
	04 : -	A
	01 : -	A
	02 : -	A
	03 : -	A
	04 : -	A
	05 : -	A
	06 : -	A
	05 : p92	A
	01 : 0	A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

02 : 15 A

03 : 10 A

06 : P77 A

01 : 0110 A

07 : P70 A

01 : 8 A

02 : 2 A

*0 A

*5 A 05 : input year A

05 : input date code A

05 : input time A

*0 A

การต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับ Data logger

Channe 1 : -

Channel 2 : วัดอุณหภูมิผิวดิน ($x = 0$ m)

Channel 3 : วัดอุณหภูมิดินที่ความลึก 0.5 m

Channel 4 : วัดอุณหภูมิดินที่ความลึก 1.0 m

Channel 5 : วัดอุณหภูมิดินที่ความลึก 1.5 m

Channel 6 : วัดอุณหภูมิดินที่ความลึก 2.0 m

การถ่ายข้อมูลลงเพปบันทึกข้อมูล

การถ่ายข้อมูลมี 2 ลักษณะคือ การถ่ายข้อมูลแบบ automatic และแบบ manual

คำสั่งในการถ่ายข้อมูลแบบ automatic

*4 A 01 : 10 A

02 : A

*0 A

คำสั่งในการถ่ายข้อมูลแบบ manual

*8 A 01 : 0 A

02 : A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

03 : 1 A

*0 A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง เปลี่ยนแต่ละเดือน (Tm, hourly ambient temperature °c)

Time	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1.00	23.9	27.1	26.6	26.1	26.5	28.5	27.8	26.5	26.8	27.4	27.6	23.7
2.00	23.2	26.9	26.4	26.1	27.4	28.3	27.7	26.8	26.8	27.3	27.3	23.3
3.00	24.7	26.8	26.4	26.4	27.4	28.0	27.9	27.1	26.6	27.1	27.1	22.7
4.00	24.3	26.6	26.9	26.2	27.3	27.7	27.8	27.2	26.4	26.9	26.8	22.6
5.00	24.1	26.4	26.5	26.3	28.3	27.3	27.6	27.7	26.3	26.7	26.7	22.0
6.00	24.9	26.2	26.7	27.1	28.2	27.1	27.8	27.5	26.2	26.2	26.5	22.2
7.00	25.8	26.4	26.9	27.2	28.7	26.1	28.0	27.8	26.5	26.6	26.6	22.0
8.00	25.5	27.0	28.2	28.6	29.9	27.8	28.5	29.5	27.3	27.5	27.5	23.2
9.00	26.3	29.3	30.6	30.3	30.2	29.6	29.3	30.5	28.1	28.9	28.6	25.0
10.00	26.7	30.6	30.9	31.9	31.6	30.9	30.1	31.5	29.1	30.6	30.3	27.0
11.00	28.4	31.3	32.7	32.3	32.1	31.8	30.6	32.3	30.2	31.5	31.8	28.4
12.00	29.4	32.1	32.9	33.4	33.4	32.6	31.3	32.5	31.1	32.4	31.8	29.4
13.00	30.2	33.1	33.4	34.1	33.6	32.9	31.3	32.2	29.6	33.0	31.9	30.4
14.00	30.3	32.7	33.5	34.3	32.5	32.7	31.7	32.8	28.3	33.1	31.9	30.4
15.00	31.0	33.0	32.6	33.6	32.7	32.8	31.4	30.8	28.8	31.3	32.3	30.8
16.00	30.7	32.9	32.0	32.4	32.4	31.8	31.1	29.8	29.9	30.8	32.5	29.9

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศรายชั่วโมงเฉลี่ยแต่ละเดือน (T_m, hourly ambient temperature °c) (ต่อ)

Time	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
17.00	29.8	31.8	30.4	32.8	31.5	31.9	30.6	30.2	30.4	31.1	31.6	28.5
18.00	28.7	30.5	29.5	31.6	29.9	30.1	27.3	29.5	29.6	30.4	30.9	27.6
19.00	27.5	29.1	28.8	31.6	29.2	29.2	26.8	29.9	28.8	30.1	30.1	26.8
20.00	27.0	28.5	28.5	30.7	29.5	29.0	26.8	29.1	28.2	29.1	29.6	26.2
21.00	26.9	28.1	27.5	29.3	28.5	28.8	27.1	28.5	28.1	28.6	29.1	25.7
22.00	25.4	27.8	27.1	28.5	27.3	28.6	27.4	28.3	28.2	28.3	28.7	25.4
23.00	25.1	27.7	26.1	27.5	27.3	28.7	27.5	28.2	28.1	28.2	28.1	24.9
24.00	24.5	27.4	26.2	27.2	27.2	28.6	27.5	28.0	28.0	27.9	27.8	24.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลค่ารังสีดวง (I, hourly solar radiation w/m²)

Time	ม.ก.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
6.00	21.67	43.61	69.72	87.22	90.93	98.33	90.28	81.11	63.89	41.94	25.83	15.56
7.00	189.72	218.34	247.5	219.17	240.56	237.78	223.06	219.17	205.83	182.5	187.78	182.78
8.00	373.34	406.73	443.34	418.34	395.5	393.06	370.56	371.95	362.5	336.96	364.73	365
9.00	546.12	590.56	628.89	598.34	590.56	540.56	510.84	517.23	510.84	482.78	531.39	536.39
10.00	680.84	731.39	773.9	731.39	718.62	656.12	620.84	631.12	626.95	596.67	661.12	670.01
11.00	754.73	808.9	853.34	801.45	780.9	719.73	681.12	693.62	690.84	659.17	732.23	743.06
12.00	754.73	808.88	853.33	804.44	788.89	719.72	681.11	693.61	690.83	659.17	732.22	743.06
13.00	680.83	731.39	773.89	731.39	718.61	656.11	620.83	631.11	626.94	596.67	661.11	670
14.00	546.11	590.56	628.89	598.33	590.56	540.56	510.83	517.22	510.83	482.78	531.38	536.39
15.00	373.33	409.72	443.33	428.33	427.5	393.06	370.56	371.94	362.5	336.94	364.72	365
16.00	189.72	218.33	247.5	249.166	255.56	237.78	223.06	219.17	205.83	182.5	187.78	182.78
17.00	21.67	43.61	69.72	87.22	100.83	98.33	90.28	81.11	63.89	41.94	25.83	15.56

*หมายเหตุ เวลา 18.00-5.00 น. ค่า I เป็นศูนย์

ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน (average relative humidity %)

เดือน	ม.ก.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
RH%	65	62	71	71	75	73	76	74	81	74	71	61

เดือน	ม.ก.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ความเร็วลม	1.29	1.73	1.91	1.6	1.29	1.25	1.5	1.4	1.08	0.94	1.35	1.25

ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน (v , average wind velocity m/s)

เดือน	ม.ก.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ความเร็วลม	1.29	1.73	1.91	1.6	1.29	1.25	1.5	1.4	1.08	0.94	1.35	1.25

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ต้องขอขอบคุณ อาจารย์วัชระ เพิ่มชาติ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อมูลต่างๆ , อาจารย์ภัทราภรณ์ เมฆพฤษวงค์ ที่ให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ขี้อุปกรณ์ต่างๆในการเก็บข้อมูล, เจ้าหน้าที่ของกรมอุคูนิยมวิทยา ที่ให้ข้อมูลต่างๆ , ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรที่ให้ขี้อุปกรณ์และใช้เครื่องมือต่างๆ จนทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

วันที่ 1 เมษายน 2541

คณะผู้จัดทำ

นายเจษฎา บุญเชิด

นายสุรพันธ์ ชงไชยะ



เอกสารอ้างอิง

1. Baruch Givoni and Leon Katz , 1985 , "Earth Temperature and Underground Building , " Energy and Building , Vol. 8 , pp. 15 - 25
2. S.S. Bharadwaj and N.K. Bansal , 1981, "Temperature Distribution Inside Ground for Various Surface Condition," Building and Environment , Vol. 16 , pp. 183 - 192.
3. A.K. Khatri , M.S. Sodha and M.A.S. Malik , 1978 , "Periodic Variation of ground Temperature with Depth , " Solar Energy , Vol. 20 , pp. 425 - 427.
4. M. Santamouris, G. Miharakakou , C.A. Balaras, A. Argiriou, D. Asimakopoulos and M. Vallindras , 1995 , "Use of Buried Pipes for Energy Conservation In Cooling of Agricultural Greenhouses , " Solar Energy , Vol. 55 , No. 2 , pp. 111 - 124.
5. B.C. Jayashankar, R.L. Sawhney and M.S. Sodha , 1989 , "Effect of Different Surface Temperature of The Surrounding Earth on Thermal Performance of Earth - Integrated Building , " International Journal of Energy Research , Vol. 13 , pp. 605- 619.
6. O.J. Svec and J.H.L. Palmer , 1989, "Performance of Spiral Ground Heat Exchanger for Heat Pump Application," International Journal of Energy Research , Vol. 13, pp. 503 - 510.
7. <http://www.discribe.ca / nordic / mgmain.htm>
8. <http://www.geoproducts.com / how.htr>
9. <http://www.tennweb.com / amgeodx / fag.html>

10. http://www.igshpa.okstate.edu/Do_It_Naturally/DIN.HTM
11. <http://208.5.14.89/reasos.html>
12. John A. Duffie and William A. Backman, 1980, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Son, pp. 12, 137.
13. Nyle C. Brady, 1990, The Nature and Properties of Soil, 10 Edition, Macmillan Publishing Company, pp. 170.
14. R.H.B. Excell and kaya Saricali, 1976, The Availability of Solar Energy in Thailand, Research Report No. 63, Asian Institute of Technology, pp. 5 - 6
15. Seung Jik Suh, 1986, "Etude Theorique Et Experimentale D'un Generateur D'air Chaud Munie D'absorbours Et D'un Stockage De Chaleur En Sous-sol A L'aide De Conduits," Diplome De Docture-Ingneur, Universite De Nice.
16. <http://www.countrglines.com/mgea/dese.htm>
17. อ. คริ่งใจ บุรสมภพ, 2539, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน, หน้า 86 - 88
18. จิรธรรม สันติสิริสมบุญ, 2537, การประเมินศักยภาพรังสีอาทิตย์สำหรับประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 16.
19. เฉลียว แข็งไพร, 2530, ภูมิอากาศดิน, เอกสารวิชาการฉบับที่ 88, กองสำรวจและจำแนกดิน, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, หน้า 1 - 13.