บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การปรุงแต่งสภาวะน่าสบาย โดยอาศัยอิทธิพลจากผิวสัมผัสดิน (A Benefit of Thermal Comfort from Earth Contact Surface) ใช้เวลาในการวิจัยตั้งแต่เดือนธันวาคม 2544 – เดือนพฤษภาคม 2545 สามารถสรุปเป็นรูปแบบและวิธีการทดลองเพื่อพิสูจน์สมมติฐานข้างต้น โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัย เป็น 2 ส่วน ดังนี้

- ขั้นตอนเตรียมการวิจัย
- ขั้นตอนวิจัย

3.1 ขั้นตอนการเตรียมการวิจัย

ขั้นตอนการเตรียมการวิจัยเพื่อศึกษาถึงแนวโน้มการใช้อิทธิพลจากผิวสัมผัสดิน เพื่อสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคาร มีขั้นตอนดังนี้

- เตรียมสถานที่ทดลอง
- เตรียมกล่องทดลองและเลือกวัสดุในการวิจัย
- เครื่องมือและการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- การทดสอบความถูกต้องของสายวัดค่าอุณหภูมิ

3.1.1 การเตรียมสถานที่ทดลอง

สถานที่ทดลองอยู่ในบริเวณเขตประเวศ ใกล้สวนหลวง ร.๙ เป็นพื้นที่โล่งกว้าง ไม่มีต้นไม้ใหญ่อยู่ในเขตทดลอง จึงถือเป็นพื้นที่ซึ่งเหมาะสมต่องานวิจัยเป็นอย่างดี

รูปที่ 3 - 1 แสดงพื้นที่ทดลอง ก่อนการสร้างกล่องทดลอง

3.1.2 การเตรียมกล่องทดลองและเลือกวัสดุในการวิจัย

การสร้างกล่องทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลจากดิน และจำกัดตัวแปรจากภายนอกที่ไม่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยเลือกใช้โฟม Polystyrene ที่มีความหนาแน่น 1 ปอนด์ต่อตารางฟุต หนา 4 นิ้ว เป็นฉนวน ในส่วนของวัสดุในการวิจัย เลือกใช้ตามคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนของขั้นตอนการทดลอง

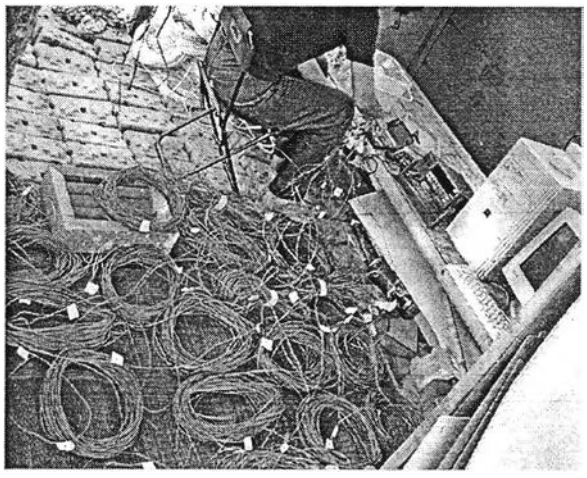
3.1.3 เครื่องมือและการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. เครื่องมือเก็บค่าอุณหภูมิ Fluke Hydra Logger ขนาด 20 ช่องสัญญาณ ใช้โปรแกรม Fluke Hydra Logger ซึ่งเป็นโปรแกรมเฉพาะของ Data Logger รุ่นนี้ เป็นตัวบันทึกข้อมูลลงคอมพิวเตอร์

ภาพที่ 3 - 2 แสดงเครื่องเก็บค่าอุณหภูมิ Fluke Hydra Logger

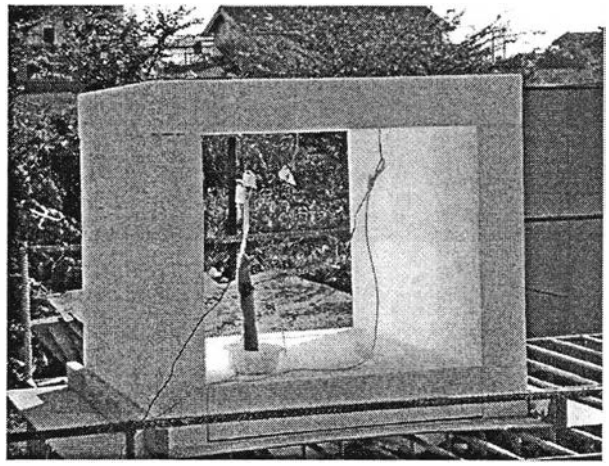
2. สายสัญญาณ Thermocouple Type T ความยาว 50 เมตร โดยได้มีการ Calibrate หัว Sensor เพื่อให้ได้ค่ากลางที่มีมาตรฐานเดียวกัน ก่อนการใช้งานจริง โดยตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิมีวิธีการวัดที่ต่างกันดังนี้



ภาพที่ 3 - 3 แสดงสาย Thermocouple Type T

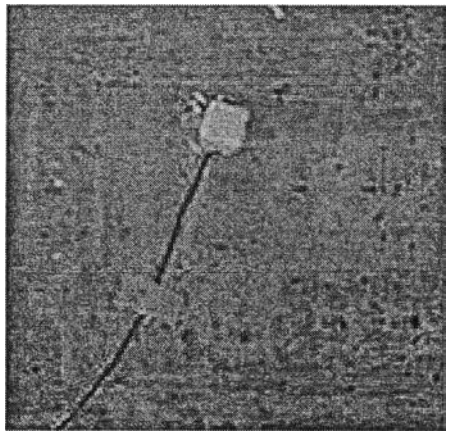
- อุณหภูมิอากาศ (Dry Bulb Temperature : DBT) โดยติดตั้งให้ตำแหน่ง Sensor สัมผัสกับอากาศรอบด้าน และป้องกันมิให้ได้รับอิทธิพลจากแหล่ง โดยใช้กล่องบุโฟม 4 ด้านขนาด 0.60 ม. * 0.60 * 0.60 ม. ติดตั้งให้อยู่สูง 0.90 ม. จากพื้นดิน เพื่อกันความร้อนทั้งจากรังสีดวงอาทิตย์และจากผิวพื้นดิน

- อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature : WBT) โดยนำหัว Sensor หุ้มด้วยผ้าชุบน้ำ ติดตั้งในบริเวณที่มีลมพัดผ่าน ป้องกันความร้อนจากรอบข้างโดยวิธีเดียวกับอุณหภูมิอากาศ



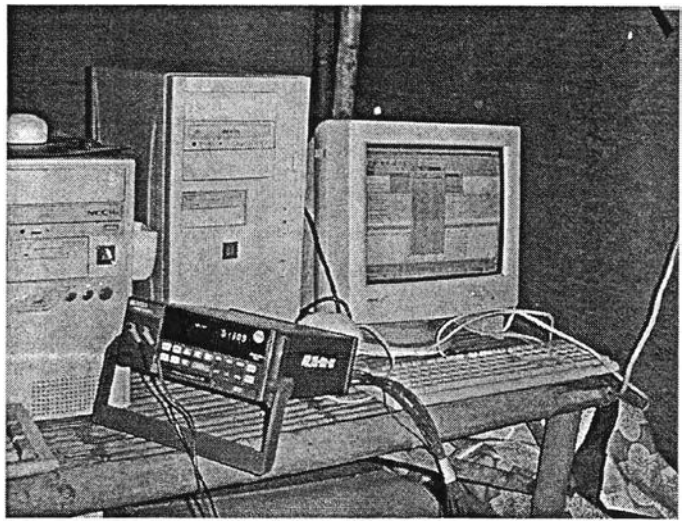
ภาพที่ 3 - 4 แสดงการติดตั้ง Sensor อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิกระเปาะเปียก โดยป้องกันอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์

- อุณหภูมิผิววัสดุ (Surface Temperature) โดยด้านหนึ่งของหัว Sensor สัมผัสกับผิววัสดุ อีกด้านหนึ่งป้องกันอิทธิพลจากแหล่งความร้อนอื่น โดยการปิดด้วยโฟมขนาด 1.5 ซม * 1.5 ซม. หนา 1 นิ้ว โดยยึด Sensor กับโฟมด้วยซิลิโคน



ภาพที่ 3 - 5 แสดงการติดตั้ง Sensor เพื่อวัดอุณหภูมิผิววัสดุ

3. เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อม Software Fluke Hydra Logger สำหรับบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ และ Boxcarpro สำหรับเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ HOBO



ภาพที่ 3 - 6 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดอุณหภูมิ Fluke Hydra Logger กับเครื่องคอมพิวเตอร์

3.1.4 การทดสอบความถูกต้องของสายวัดค่าอุณหภูมิ

การทดสอบความถูกต้องของสายวัดค่าอุณหภูมิ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ต่อสายดินให้กับเครื่องวัดอุณหภูมิ (Data Logger) ในขณะที่กำลังทำงาน เพื่อป้องกันการรบกวนของกระแสไฟ และเพื่อทำให้กระแสไฟในทุกหัววัดเป็นศูนย์

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเทียบค่า (Calibrate) ในการอ่านของหัววัดอุณหภูมิให้เท่ากัน โดยมีวิธีการคือ

- ให้ปลายสายวัดอุณหภูมิรวมอยู่เป็นจุดเดียวกัน ในสภาวะเดียวกัน ภายในวัสดุที่ป้องกันอิทธิพลจากลมที่พัดผ่านและปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบอื่น
- ทดสอบค่าอุณหภูมิในสภาวะเดียวกัน โดยกำหนด Range ของอุณหภูมิที่ต้องการวัดก่อน ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ กำหนดอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส ถึง 10 องศาเซลเซียส จากนั้นเริ่มที่อุณหภูมิสูงตามที่กำหนดไว้แล้วจึงค่อย ๆ ลด

อุณหภูมิลงให้ถึงจุดที่ต่ำสุด คือ 10 องศาเซลเซียส ผลที่อ่านได้ของสายวัดค่าอุณหภูมิที่ใช้จะต้องมีช่วงห่างกันในแต่ละหัวไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส

- ทำการปรับแก้ค่าอุณหภูมิ เพื่อให้ได้ค่ากลางที่ถูกต้องที่สุดด้วยสมการถดถอย (Regression) เพื่อหาตัวคูณควบในการปรับแก้

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

จากวัตถุประสงค์การวิจัยสามารถสรุปเป็นขั้นตอนการทดลองได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การหาแนวทางปรุงแต่งอุณหภูมิดินที่สัมผัสผิวอาคาร โดยแบ่งการทดสอบดังนี้

- การทดลองที่ 1.1 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินกับความชื้นในดิน
- การทดลองที่ 1.2 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินกับสิ่งปกคลุมดิน
- การทดลองที่ 1.3 ทดสอบแนวทางเลือกชนิดของดินให้เหมาะสมกับลำดับชั้นดิน
- การทดลองที่ 1.4 หาความลึกและปริมาตรดินสัมผัสผิวอาคารที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 2 แนวทางการเลือกวัสดุผิวอาคารส่วนสัมผัสดินที่เหมาะสม แบ่งการทดสอบดังนี้

- การทดลองที่ 2.1 ทดสอบวัสดุโดยพิจารณาจากค่าความจุความร้อนจำเพาะ
- การทดลองที่ 2.2 ทดสอบคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวอาคารกับดิน โดยศึกษาใน 2 สภาวะ คือ สภาวะที่ปกติ (Normal Condition) และสภาวะที่มีแหล่งความร้อนภายใน (Internal Heat Gain Condition)

ขั้นตอนที่ 3 การนำไปประยุกต์ใช้กับอาคาร โดยใช้อาคารจำลองโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นกรณีศึกษา

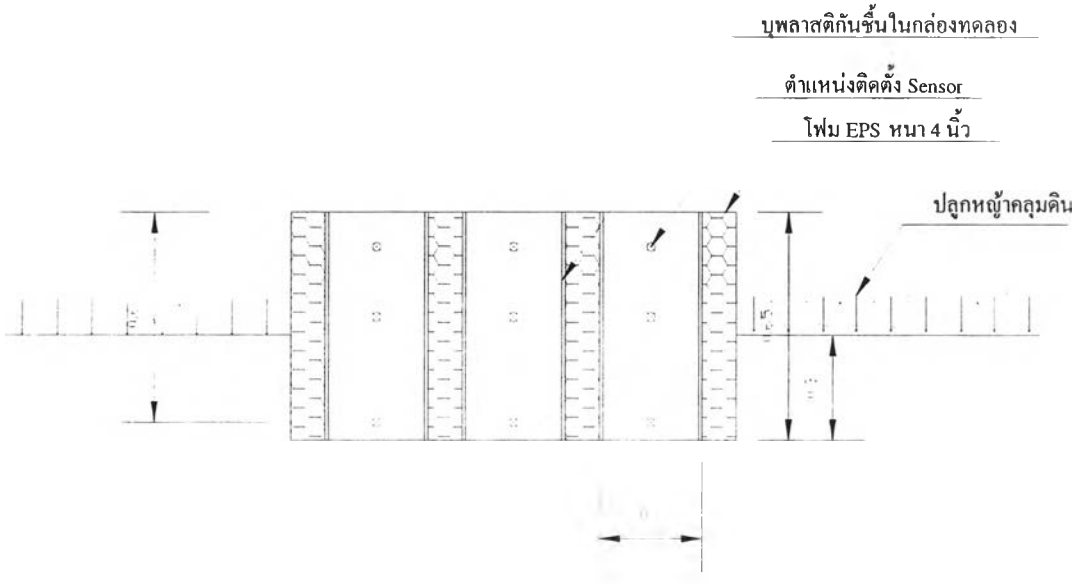
- การทดลองที่ 3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารโรงรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในกรณีที่มีดินถมด้านข้างอาคารกับกรณีที่ไม่มีดินถม

ขั้นตอนที่ 1 การหาแนวทางปรุงแต่งอุณหภูมิดินที่สัมผัสผิวอาคาร

จากการศึกษาพบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิดิน ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของดิน อันได้แก่ ชนิดของเนื้อดิน , ปริมาณความชื้นในดิน , ชนิดของวัสดุปกคลุมผิวดิน ซึ่งตัวแปรที่แตกต่างกันเหล่านี้ ส่งผลกับคุณสมบัติทางความร้อนของดิน ได้แก่ ค่าการนำความร้อน (Conductivity) ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) รวมถึงค่า การดูดซับความร้อน (Absorption) ให้แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลทำให้อุณหภูมิดินแตกต่างกันด้วย การทดลองนี้ จึงคัดเลือกตัวแปรเพื่อทำการทดสอบดังนี้

- คุณสมบัติของเนื้อดิน
- ความชื้นในดิน
- ชนิดของสิ่งปกคลุมดิน

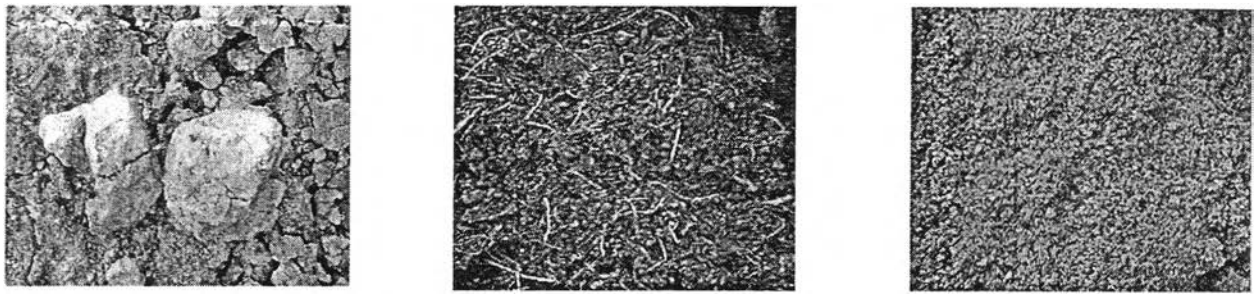
เพื่อทดสอบอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิดิน ได้ออกแบบกล่องทดลอง โดยใช้โฟม EPS ความหนา 4 นิ้ว ประกอบเป็นกล่องขนาด 0.30 * 0.30 * 0.65 ม. ติดตั้งโดยขุดดินลงไปจากระดับผิวบน 0.30 ม.



ภาพที่ 3 - 7 แสดงกล่องทดลองที่ใช้ทดสอบในการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 1.1 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินกับความชื้นในดิน

จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า ชนิดของเนื้อดินมีผลต่ออุณหภูมิดิน การทดลองนี้จึงเป็นการศึกษาอิทธิพลของเนื้อดินกับอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยแบ่งชนิดของดินเป็น 3 กลุ่มขนาด (Size Class) ตามระบบสากล โดยเรียงตามขนาดของอนุภาค ได้แก่ กลุ่มทราย,กลุ่มดินร่วนหรือทรายแป้ง และกลุ่มดินเหนียว ตามลำดับ โดยทดลองในสภาวะที่ดินเปียกกับดินแห้ง



ภาพที่ 3 - 8 แสดงตัวอย่างชนิดดินที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย ดินเหนียว ดินร่วน และดินทราย ตามลำดับ

ปริมาณความชื้นในดินที่เลือกมาทดสอบ หาจากการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับกึ่งกลางกล่องทดลองแต่ละชนิดมาในปริมาตรที่เท่ากัน ชั่งน้ำหนักและบันทึกข้อมูลไว้ จากนั้นนำมาอบในเครื่องอบวัสดุที่ความร้อน 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง น้ำหนักของดินก่อนอบเมื่อนำมาลบกับน้ำหนักหลังอบ คือน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในเนื้อดินแต่ละชนิด โดยเก็บข้อมูลตัวอย่างดิน 3 ครั้ง หลังการรดน้ำ 1 ชั่วโมง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของความชื้นในดินตลอดทั้งวัน ซึ่งผลที่ได้สามารถนำมาคำนวณค่าความชื้นของดินได้จากสมการ

$$Pw = \frac{Mw}{Ms} * 100$$

เมื่อ Pw = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำในดิน (%)

Mw = น้ำหนักของน้ำในดิน (กรัม)

Ms = น้ำหนักของดินที่แห้งสนิท (กรัม)

ผลจากการทดสอบปริมาณความชื้นในดินจากกล่องทดลอง เมื่อผ่านขั้นตอนดังกล่าว สามารถสรุปได้ดังนี้

ดินเหนียวเปียก	ปริมาณความชื้น	42.84	%
ดินร่วนเปียก	ปริมาณความชื้น	27.35	%
ทรายเปียก	ปริมาณความชื้น	7.34	%
ดินเหนียวแห้ง	ปริมาณความชื้น	16.72	%
ดินร่วนแห้ง	ปริมาณความชื้น	14.56	%
ทรายแห้ง	ปริมาณความชื้น	3.55	%

ตัวแปรในการทดลองที่ 1.1

ตัวแปรต้น

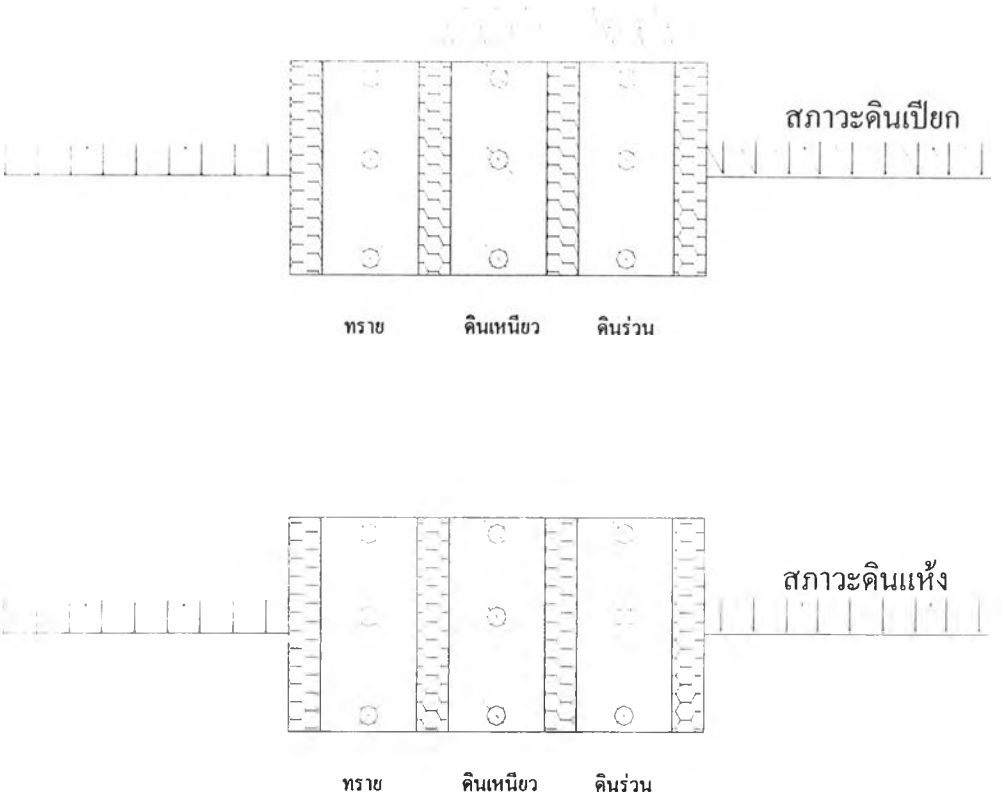
- ชนิดของดิน
  - ดินเหนียว
  - ดินร่วน
  - ดินทราย
- ความชื้นในดิน
  - เปียก รดน้ำ 16 ออนซ์ ทุก 3 ชั่วโมง
  - แห้ง

ตัวแปรตาม

- อุณหภูมิดิน ที่ลึก 0.10 ม. , 0.30 ม. และ 0.60 ม. จากผิวดิน

ตัวแปรควบคุม

- ไม่มีสิ่งปกคลุมดิน
- ปริมาตรดินทดสอบ 0.30 * 0.30 * 0.60 ลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 3 - 9 แสดงรูปแบบการทดลองที่ 1 .1 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินกับความชื้นในดิน

<u>การทดลองที่ 1.2</u> ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินกับสิ่งปกคลุมดิน

จากผลการทดลองที่ 1.1 พบว่า ดินทุกชนิดที่นำมาทดสอบ เมื่อมีความชื้นในดินสูง (ดินเปียก) มีอุณหภูมิต่ำกว่าดินแห้ง ในทุกระดับความลึก ดังนั้นการทดลองนี้ จึงเลือกใช้ดินเปียกมาทดสอบกับสิ่งปกคลุมดินที่แตกต่างกัน เพื่อหาสิ่งปกคลุมดินที่มีแนวโน้มที่จะควบคุมอุณหภูมิดินให้คงที่และเข้าใกล้สภาวะน่าสบายที่สุด

ตัวแปรในการทดลองที่ 1.2

ตัวแปรต้น

- ชนิดของดิน
  - ดินเหนียว
  - ดินร่วน
  - ดินทราย
- สิ่งปกคลุมดิน

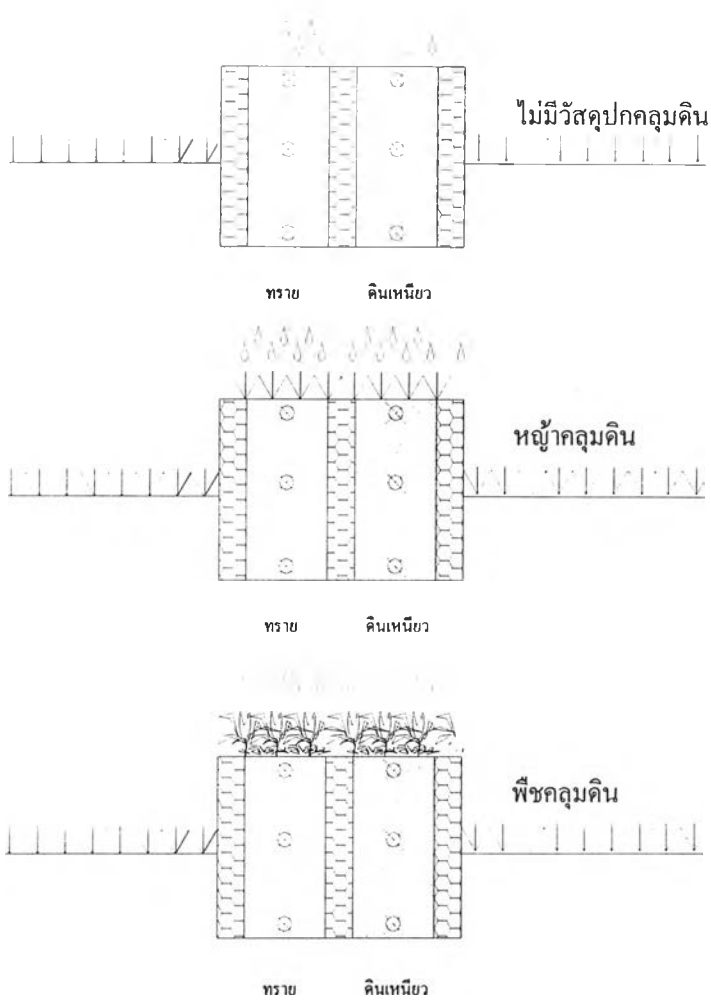
- ไม่มีสิ่งปกคลุมดิน
- หญ้า
- พืชคลุมดิน เลือกใช้ต้นบุษบาฮาวาย ความสูงเฉลี่ย 10 - 15 ซม.

ตัวแปรตาม

- อุณหภูมิดิน ที่ลึก 0.10 ม. , 0.30 ม. และ 0.60 ม. จากผิวดิน

ตัวแปรควบคุม

- ดินเปียก รดน้ำ 16 ออนซ์ ทุก 3 ชั่วโมง
- ปริมาตรดินทดสอบ 0.30 * 0.30 * 0.65 ลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 3 - 10 แสดงรูปแบบการทดลองที่ 1.2 ทดสอบอิทธิพลของเนื้อดินที่มีวัสดุปกคลุมดินที่ต่างกัน

การทดลองที่ 1.3 ทดสอบแนวทางการผสมผสานชนิดดินให้เหมาะสมกับระดับความลึก

จากการทดลองที่ 1.2 พบว่า ชนิดของเนื้อดินที่แตกต่างกันมีผลให้อุณหภูมิดินที่ระดับต่าง ๆ ต่างกันด้วย โดยทรายเป็นอนุภาคที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุดที่ดินระดับบน (ผิวดิน – ความลึก 0.30 ม.) และที่ระดับ 0.30 ม. ลงไป ดินเหนียวมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด การทดลองนี้จึงเป็นหาแนวทางในการเลือกเนื้อดินให้เหมาะสมกับระดับความลึกของดิน และผสมผสานชั้นของดิน (Soil Layer) เพื่อให้ได้ดินที่มีอุณหภูมิเหมาะสมต่อการนำไปปรุงแต่งสภาวะน่าสบายภายในอาคารให้มากที่สุด

ตัวแปรในการทดลองที่ 1.3

ตัวแปรต้น

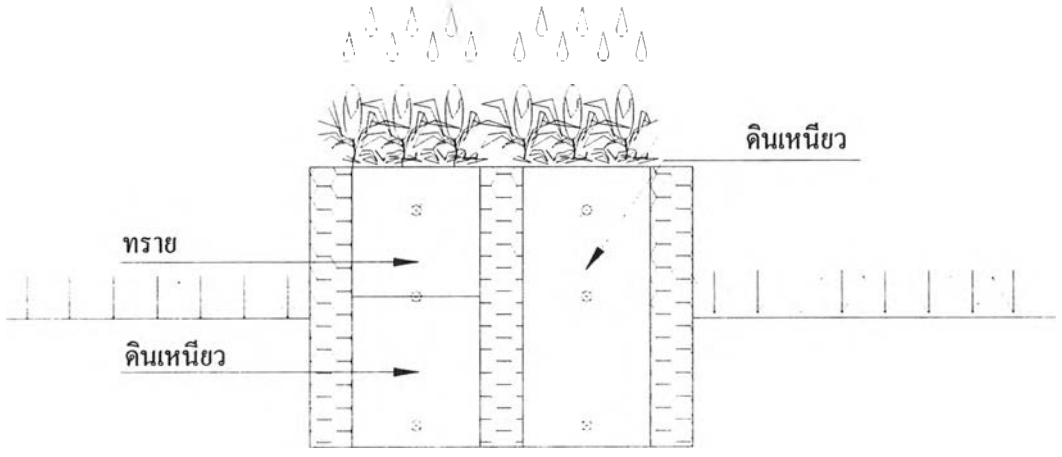
- ชนิดดินที่ระดับต่าง ๆ

ตัวแปรตาม

- อุณหภูมิดิน ที่ลึก 0.10 ม. , 0.30 ม. และ 0.60 ม. จากผิวดิน

ตัวแปรควบคุม

- ดินเปียก
- สิ่งปกคลุมดิน เลือกใช้พืชคลุมดิน ความสูงเฉลี่ย 10 - 15 ซม.
- ปริมาตรดินทดสอบ 0.30 * 0.30 * 0.60 ลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 3 - 11 แสดงรูปแบบการทดลองที่ 1.3 ทดสอบแนวทางการผสมผสานชนิดดินให้เหมาะสมกับระดับความลึก

การทดลองที่ 1.4 หาความลึกและปริมาตรดินสัมผัสผิวอาคารที่เหมาะสม

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า ที่ระดับความลึกหนึ่ง ดินมีอุณหภูมิอยู่ใกล้สภาวะน่าสบายตลอดเวลา การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาระดับความลึกและปริมาตรของดินที่สัมผัสเปลือกอาคารที่น้อยที่สุด (Minimum) ซึ่งมีอุณหภูมิเหมาะสมต่อการนำไปปรุงแต่งสภาวะน่าสบายภายในอาคาร พร้อมวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิดินกับอุณหภูมิผิวผนังคอนกรีตที่สัมผัสดิน

ตัวแปรในการทดลองที่ 1.4

ตัวแปรต้น

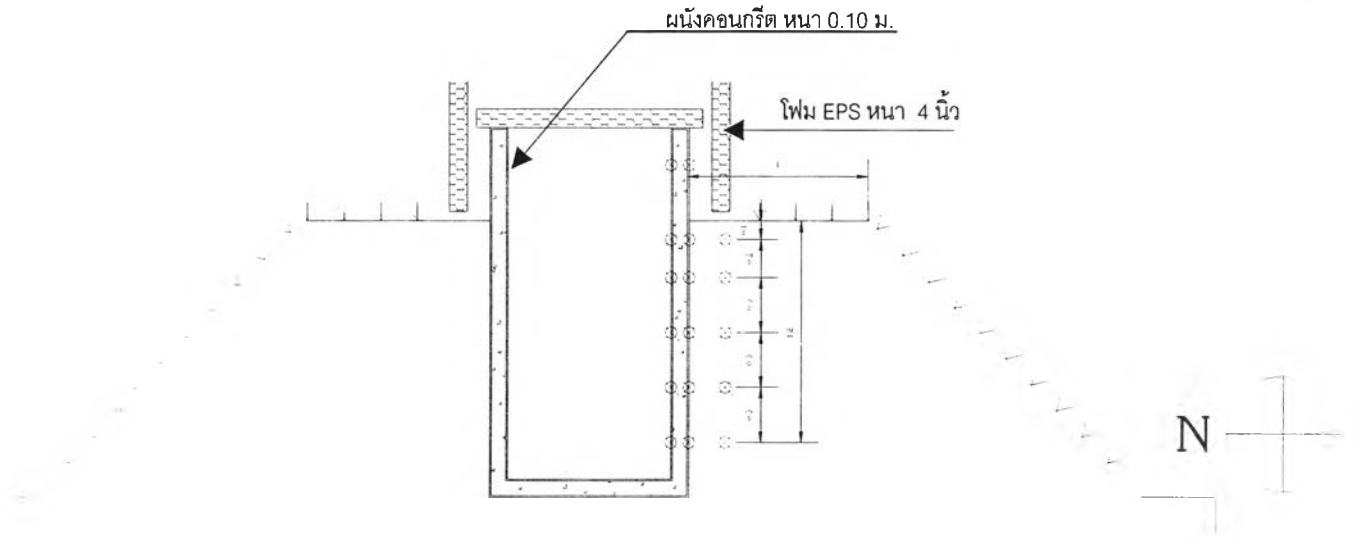
- ระดับความความลึกของดิน

ตัวแปรตาม

- อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 0.10 ม. , 0.30 ม. , 0.60 ม. , 0.90 ม. และ 1.20 ม. จากผิวดิน
- อุณหภูมิผิวผนังคอนกรีตด้านสัมผัสดิน
- อุณหภูมิผิวผนังคอนกรีตด้านในกล่องทดลอง

ตัวแปรควบคุม

- ชนิดของดินใช้ดินร่วนอ่างทองมีลักษณะเนื้อดินเป็นร่วนปนเหนียว ใช้สำหรับถมที่
- ความสูงของดินที่ถมรอบอาคาร สูง 1.50 ม. กว้าง 1.00ม. ปริมาตรดินที่ทดสอบ 3.375 ลบ.ม โดยมีความลาดเอียง (Slope) 45 องศา
- วัสดุปกคลุมผิวดิน เลือกใช้หญ้า ความสูงเฉลี่ย 5 ซม.



ภาพที่ 3 - 12 แสดงรูปแบบการทดลองและตำแหน่งตำแหน่ง Sensor ของการทดลองที่ 1.4

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบชนิดของวัสดุผิวอาคารส่วนสัมผัสดินที่เหมาะสม

นอกจากการปรุงแต่งอุณหภูมิดินให้เหมาะสมแล้ว การเลือกวัสดุอาคารส่วนสัมผัสดินเป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคาร จากการศึกษาพบว่า วัสดุสัมผัสดินที่เหมาะสมควรมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิดินและมีความแปรปรวนตามอุณหภูมิอากาศในรอบวันน้อย แม้ในเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูง นอกจากนั้น เมื่ออุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่ามวลสารดินที่สัมผัสผิวอาคาร วัสดุผิวอาคารส่วนสัมผัสดินควรมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในอาคารออกสู่มวลสารดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากเหตุดังกล่าว ในขั้นตอนนี้จึงเป็นการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิผิววัสดุ อันได้แก่ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) และค่าการนำความร้อน (Conductance)

การทดลองที่ 2.1 ทดสอบวัสดุโดยพิจารณาจากค่าความจุความร้อนจำเพาะ

เป็นการทดลองเพื่อหาวัสดุสัมผัสดินที่มีคุณสมบัติในการเหนี่ยวนำอุณหภูมิจากดินมาใช้ในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ โดยชนิดและความหนาของวัสดุที่นำมาทดสอบพิจารณาจากวัสดุที่มีแนวโน้มในการนำมาใช้งานจริง ได้แก่ เหล็ก อิฐ และคอนกรีต จากสมการ

$$Q = MS\Delta T \quad \text{-------} (1)$$

พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่มีผลต่อ พลังงานที่สะสมในวัสดุ (Q) คือ มวลสาร (M) และ ค่าความจุความร้อนของวัสดุ (S) เมื่อกำหนดให้ ΔT คงที่ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อ Q ได้แก่ มวลสารและค่าความจุความร้อนของวัตถุ โดย Total MS สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Total MS} = (\text{Volume} * \text{Density}) * \text{Specific Heat} \quad \text{-------} (2)$$

จากสมการค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) [1]

---

[1] ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) คือการกักเก็บความร้อนของมวลสารต่อปริมาตร มีความสัมพันธ์กันระหว่างความร้อนและอุณหภูมิ ถูกจำกัดความด้วย ปริมาณพลังงานความร้อนที่กักเก็บต่อ 1 หน่วยปริมาตร ซึ่งทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น 1 ^{o}F มีหน่วยเป็น BTU/ft^3 ^{o}F

Heat Capacity (BTU/ft^3 $^\circ$F) = Density * Specific Heat ----- (3)

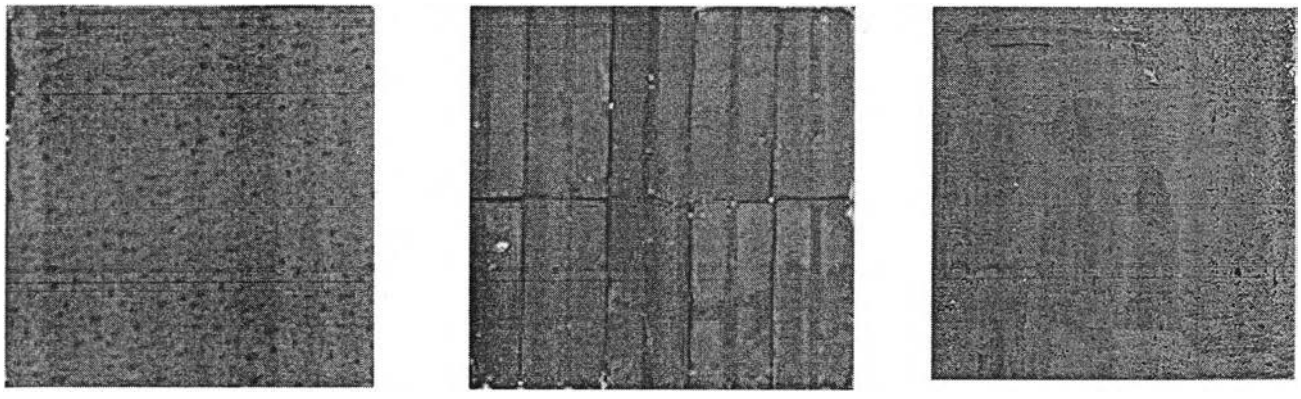
แต่ค่า Heat Capacity ที่ได้จากสูตร เป็นปริมาณพลังงานความร้อนที่กักเก็บต่อ 1 หน่วยปริมาตร ดังนั้นในการนำมาเทียบกับวัสดุที่ใช้ทดลองจึงต้องแปลงให้เป็นปริมาตรของวัสดุจริง ดังสมการ

Heat Capacity (BTU/ $^\circ$F) = Density * Specific Heat * Volume ----- (4)

พบว่า สมการที่ (2) = สมการที่ (4) ดังนั้น สรุปได้ว่า Heat Capacity (BTU/ $^\circ$F) = Total MS

เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกวัสดุที่นำมาทดสอบ จึงพิจารณาจาก ค่าความจุความร้อนของวัสดุ (Heat Capacity) เป็นเกณฑ์ โดยเลือกวัสดุดังนี้

- เหล็กแผ่น ขนาด 30 * 30 * 1.25 ซม.
- อิฐมอญมาตรฐาน ขนาด 30 * 30 * 4.5 ซม.
- คอนกรีต ขนาด 30 * 30 * 4 ซม.



ภาพที่ 3 - 13 แสดงวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ 2.1 โดยเริ่มจาก เหล็ก , อิฐ และคอนกรีต

สามารถหาค่า Heat Capacity ของวัสดุแต่ละชนิด จากการคำนวณได้ดังนี้

Mass ของเหล็ก (Steel) ในการทดลอง = ปริมาตร * ความหนาแน่น

= 1.25/30 * 450

= 18.75 lb

Heat Capacity ของเหล็ก (Steel) = Mass * Specific Heat

= 18.75 * 0.12

= 2.16 Btu / ^{o}F

Mass ของอิฐ (Brick) ในการทดลอง = ปริมาตร * ความหนาแน่น

= 4.5/30 * 120

= 18 lb

Heat Capacity ของอิฐ (Brick) = Mass * Specific Heat

= 18 * 0.19

= 3.42 Btu / ^{o}F

Mass ของคอนกรีต (Concrete) ในการทดลอง = ปริมาตร * ความหนาแน่น

= 4/30 * 144

= 19.2 lb

Heat Capacity ของคอนกรีต (Concrete) = Mass * Specific Heat

= 19.2 * 0.24

= 4.61 Btu / ^{o}F

จากการคำนวณข้างต้น สามารถสรุปเป็นตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภายของวัสดุที่นำมาทดสอบได้ดังนี้

ตารางที่ 3 - 1 แสดงการเปรียบเทียบค่า ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ของวัสดุที่เลือกมาทดสอบ

Material		Density (lb / ft^3)	Mass (lb)	Specific Heat (Btu / lb. ^{o}F)	Heat Capacity (Btu / ^{o}F)
Low Heat Capacity	เหล็ก (Steel)	450	18.75	0.12	2.16
Medium Heat Capacity	อิฐ (Brick)	120	18	0.19	3.42
High Heat Capacity	คอนกรีต(Concrete)	144	19.2	0.24	4.61

ตัวแปรในการทดลองที่ 2.1

ตัวแปรต้น

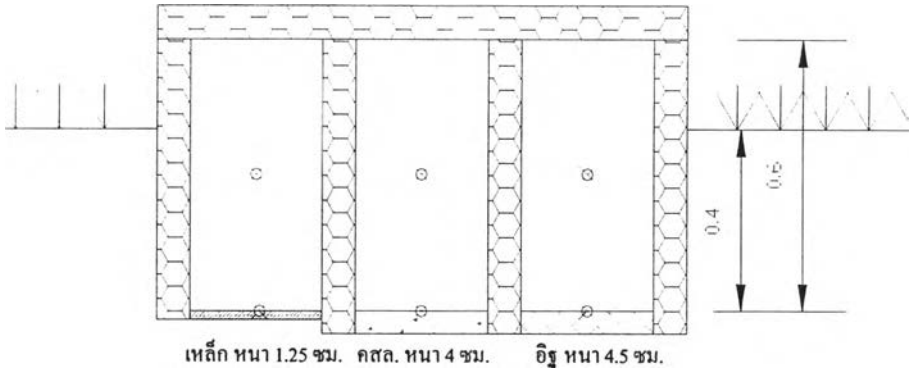
- วัสดุเปลือกอาคารส่วนที่สัมผัสดิน แบ่งตามค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ได้แก่ คอนกรีต ,อิฐ และเหล็ก

ตัวแปรตาม

- อุณหภูมิผิววัสดุที่สัมผัสดิน
- อุณหภูมิอากาศในกล่องทดลอง

ตัวแปรควบคุม

- กล่องทดลอง ขนาด 30*30*60 ซม. ฝังอยู่ในดินลึก 0.40 ม.
- วัสดุปกคลุมผิวดิน เลือกใช้หญ้า ความสูงเฉลี่ย 5 ซม.



ภาพที่ 3 - 14 แสดงรายละเอียดกล่องทดลองและตำแหน่งติดตั้ง Sensor ในการทดลองที่ 2.1

<u>การทดลองที่ 2.2</u> การทดสอบคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับมวลสารดิน

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความสามารถของเปลือกอาคารในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิภายในอาคารกับดินมวลสารดินผ่านวัสดุที่มีค่าการนำความร้อน (Conductance) ที่ต่างกัน ภายใต้สภาวะปกติ (Normal Condition) และสภาวะมีแหล่งความร้อนภายใน (Internal Heat Gain Condition) เกณฑ์ในการเลือกชนิดของวัสดุทดลองพิจารณาจากสมการ

$$Q = UA\Delta T$$

จากสมการพบว่าตัวแต่ที่มีอิทธิพลต่อพลังงานในวัสดุ (Q) เมื่อพื้นที่คงที่ คือค่า U แต่เนื่องจากค่า U เป็นค่าที่คิดรวมผิวอากาศเข้าไปด้วย แต่ในกรณีนี้ผนังด้านหนึ่งสัมผัสดินโดยตรง จึงพิจารณาจากค่าการนำความร้อน (Conductance : C) ของวัสดุแทน โดยต้องมีความแข็งแรง สามารถรับแรงดันจากดินได้ ซึ่งจากเกณฑ์ดังกล่าว จึงเลือกคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งกำหนดให้เป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง และผนังอิฐฉาบปูนซึ่งกำหนดให้เป็นตัวนำความร้อนปานกลาง เป็นตัวแทนของวัสดุที่ใช้พิจารณา

ตารางที่ 3 - 2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาทดสอบ โดยแบ่งตามประเภทค่าการนำความร้อน

Material		Specific Heat (Btu / lb. ^{o}F)	Density (lb / ft^3)	Conductivity (Btu / h . F.ft)	Conductance (Btu / h . F.ft^2)
Medium Conductance	อิฐ (Brick)	0.19	120	1.2103	4.875
	อิฐฉาบปูน หนา 10 ซม.				3.886 (ΣC)
High Conductance	คอนกรีต หนา 10 ซม.	0.24	144	1.625	4.841

ที่มา : ดัดแปลงจาก ASHRAE, 1997:24.4-24.7 และ Mechanical and Electrical Equipment for Buildings 7th : p. 136 – 141

สภาวะภายในกล่องทดลองแบ่งเป็น 2 สภาวะ (Condition) คือ

1. สภาวะที่กล่องทดลองไม่มีแหล่งความร้อนภายใน (Normal Condition)
2. สภาวะที่กล่องทดลองมีแหล่งความร้อนภายใน (Internal Heat Gain Condition)

   โดยใช้หลอดไฟ 100 Watt เป็นแหล่งความร้อนภายในกล่องทดลอง ซึ่งให้พลังงานความร้อน 341.21 Btu/h เทียบเท่ากับอัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกายคน (Metabolism Rate) ประมาณ 1.5 คน

ตัวแปรในการทดลองที่ 2.2

ตัวแปรต้น

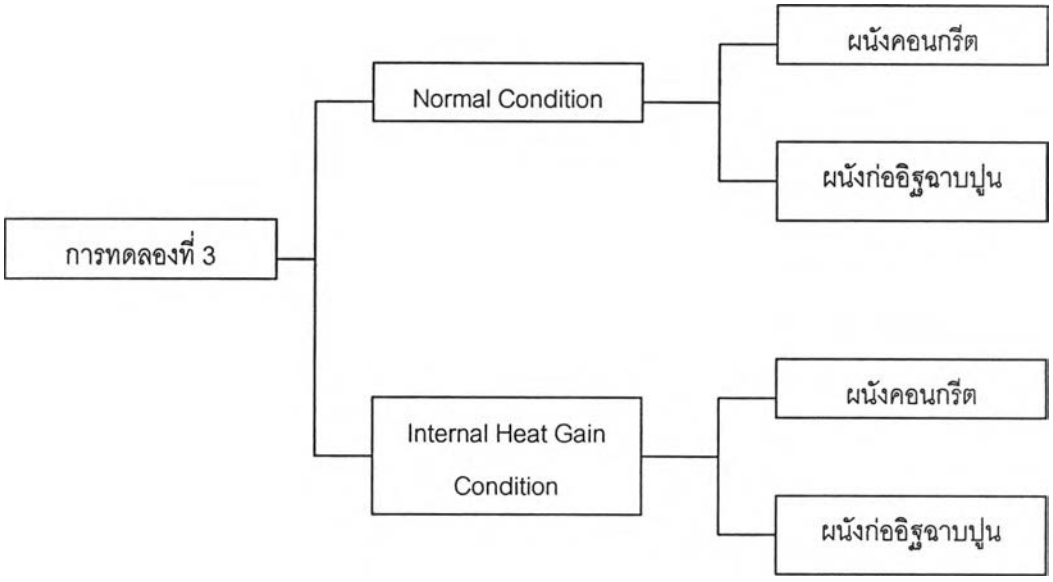
- สภาวะในกล่องทดลอง
  - สภาวะปกติ
  - สภาวะมีแหล่งความร้อนภายใน
- วัสดุเปลือกอาคาร
  - ผนังคอนกรีต หนา 10 ซม.
  - ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 10 ซม.

ตัวแปรตาม

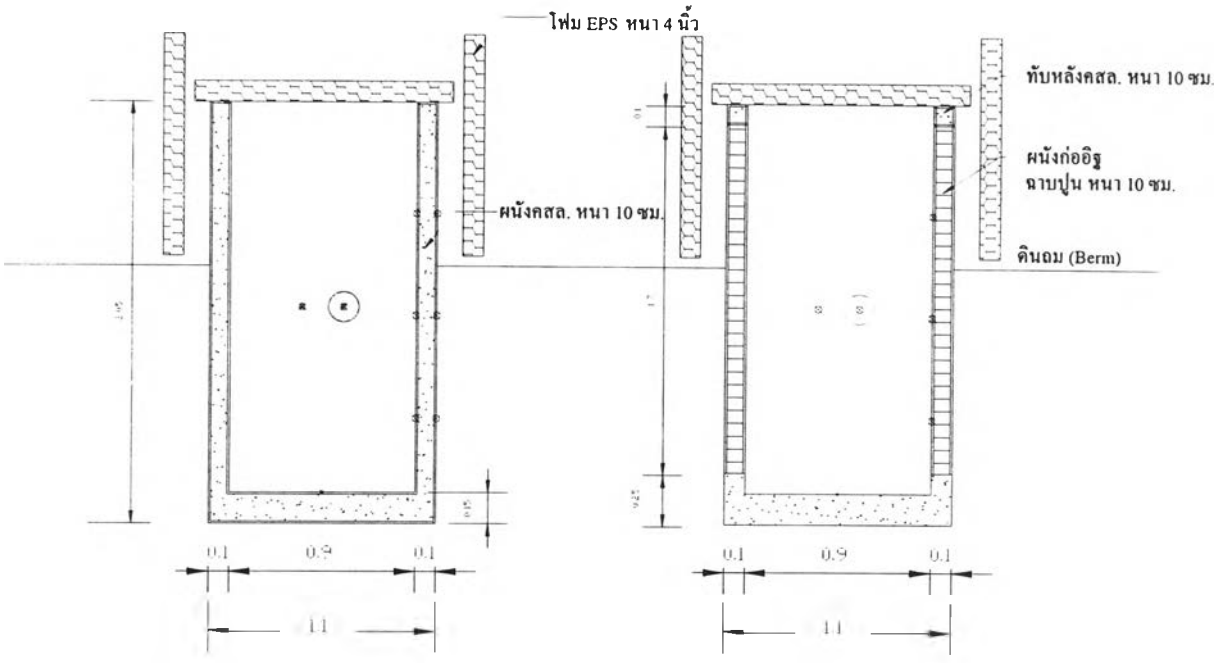
- อุณหภูมิอากาศในกล่องทดลอง
- อุณหภูมิผิวผนังด้านใน ที่ระดับ 0.50 ม. , 1.00 ม. และ 1.50 ม. จากพื้น

ตัวแปรควบคุม

- ความสูงของดินที่ถมรอบอาคาร สูง 1.25 ม. กว้าง 1.00 ม. ปริมาตรดินรอบอาคาร 20 ลบ.ม โดยมีความลาดเอียง (Slope) 45 องศา
- วัสดุปกคลุมผิวดิน เลือกใช้หญ้าความสูงเฉลี่ย 5 ซม.



แผนภูมิที่ 3 - 1 แสดง Diagram การทดลองในสภาวะต่าง ๆ ของการทดลองที่ 2.2



ภาพที่ 3 - 15 แสดงรายละเอียดกล่องทดลองและตำแหน่งติดตั้ง Sensor ในการทดลองที่ 2.2

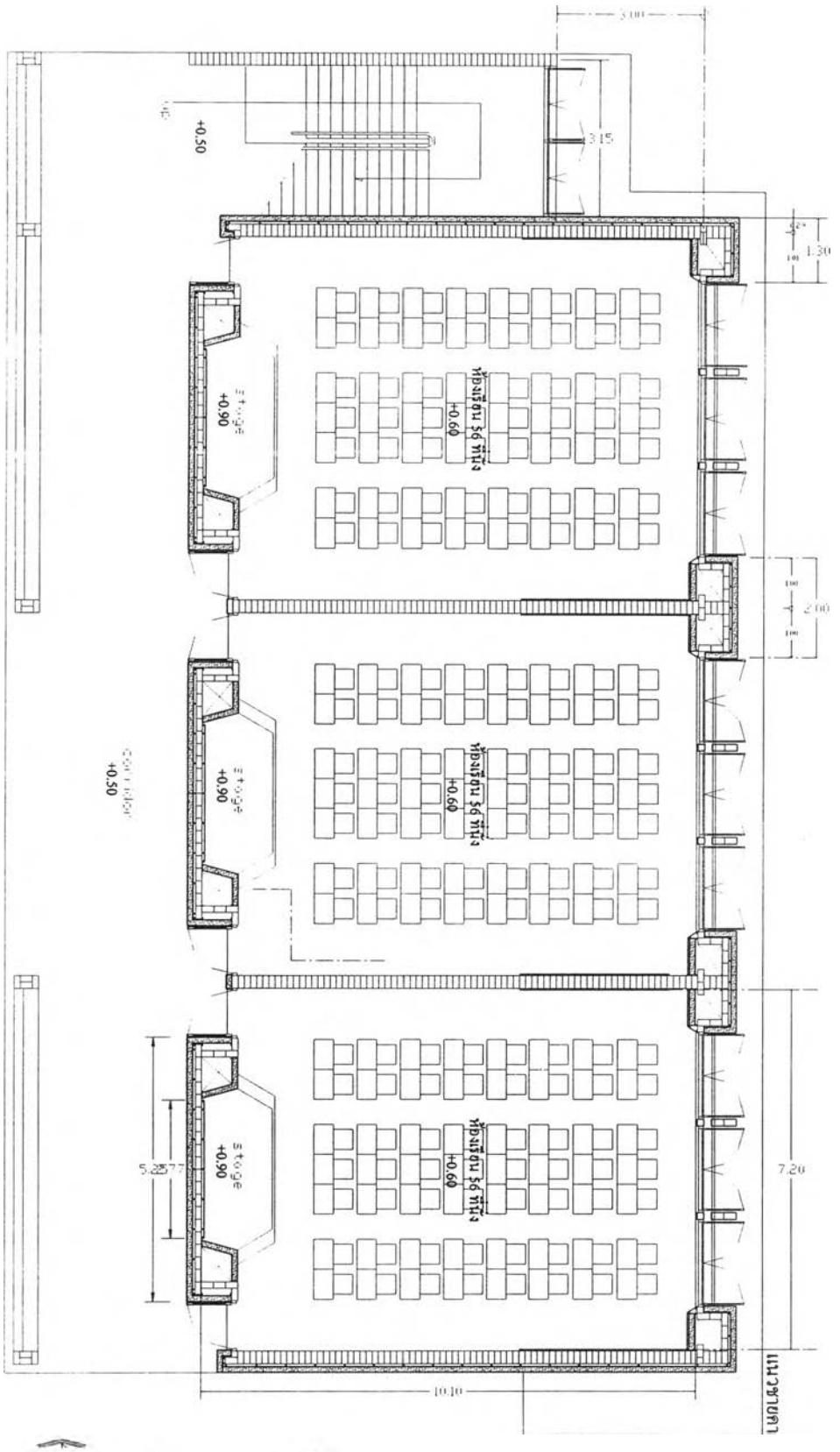
<u>ขั้นตอนที่ 3</u> การนำไปประยุกต์ใช้กับอาคาร กรณีศึกษาอาคารจำลองโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นโครงการวิจัยเพื่อหารูปแบบของโรงเรียนพื้นถิ่นที่ใช้ประโยชน์จากธรรมชาติในการปรุงแต่งสภาวะน่าสบายภายในอาคาร[2] การออกแบบโดยให้ผิวอาคารสัมผัสดินเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งช่วยในการปรุงแต่งสภาวะน่าสบายภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงข้อมูลเชิงอุณหภูมิของดินที่การปรุงแต่งที่เหมาะสม ตลอดจนแนวคิดในการพิจารณาเลือกวัสดุผิวอาคารส่วนสัมผัสดินที่มีประสิทธิภาพ เพื่อถ่ายเทความร้อนจากภายในอาคารสู่มวลสารดิน โดยสามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ทั้งในส่วนการปรุงแต่งดินให้มีอุณหภูมิเหมาะสม ตลอดจนการเลือกวัสดุผิวสัมผัสดินมาประยุกต์กับโรงเรียนต้นแบบ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. การทดลองเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารจำลองโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
2. การคำนวณสิทธิภาพในการลดพลังงานความร้อนภายในอาคารโรงเรียนต้นแบบจากผิวสัมผัสดิน

---

[2] นาราทร พุทธโฆษ์ , การออกแบบโรงเรียนท้องถิ่นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยวิธีการธรรมชาติ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . 2545.

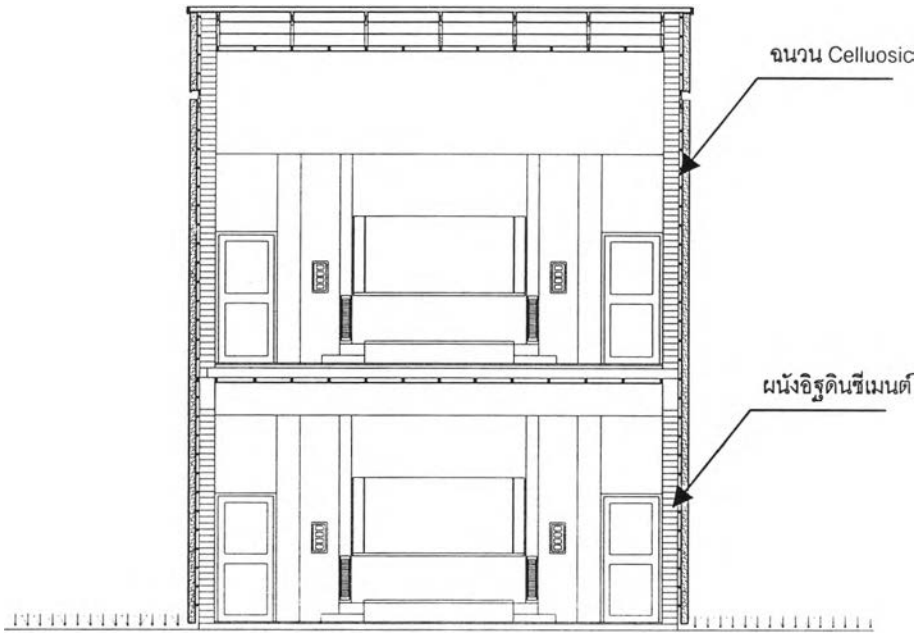


ภาพที่ 3 - 16 แสดงผังพื้นของโรงเรียนต้นแบบ

แผ่นหลังคาแอสฟัลส์ชิงเกิล
จันทันไม้ขนาด 2"*8"
แผ่นไม้อัดหนา 10 มม.
แปไม้ขนาด 1 1/2"*3" ห่าง 1.20 ม.
ฉนวน Celluosic หรือฉนวนเส้นใยธรรมชาติเทียบเท่า
หุ้มวัสดุสะท้อนรังสี
ตะแกรงลวด # 1 /2 " x 1 /2 "
รางน้ำสังกะสี
รางน้ำสังกะสี
ฉนวน Celluosic หรือฉนวนเส้นใยธรรมชาติเทียบเท่า
หุ้มวัสดุสะท้อนรังสี
โฟม EPS
แผ่นหลังคาแอสฟัลส์ชิงเกิล
รางน้ำสังกะสี
▽+4.70
▽+4.60
ระดับพื้นชั้นสอง + 4.70 ม.
ฉนวน Celluosic
โฟม EPS
ท่อน้ำสังกะสี 0 4"
กรวดพักน้ำ
▽+0.60
▽+0.50
ระดับพื้นชั้นหนึ่ง + 0.60 ม.
ระดับดินเดิม + 0.00 ม.

การทดลองที่ 3 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารจำลองโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

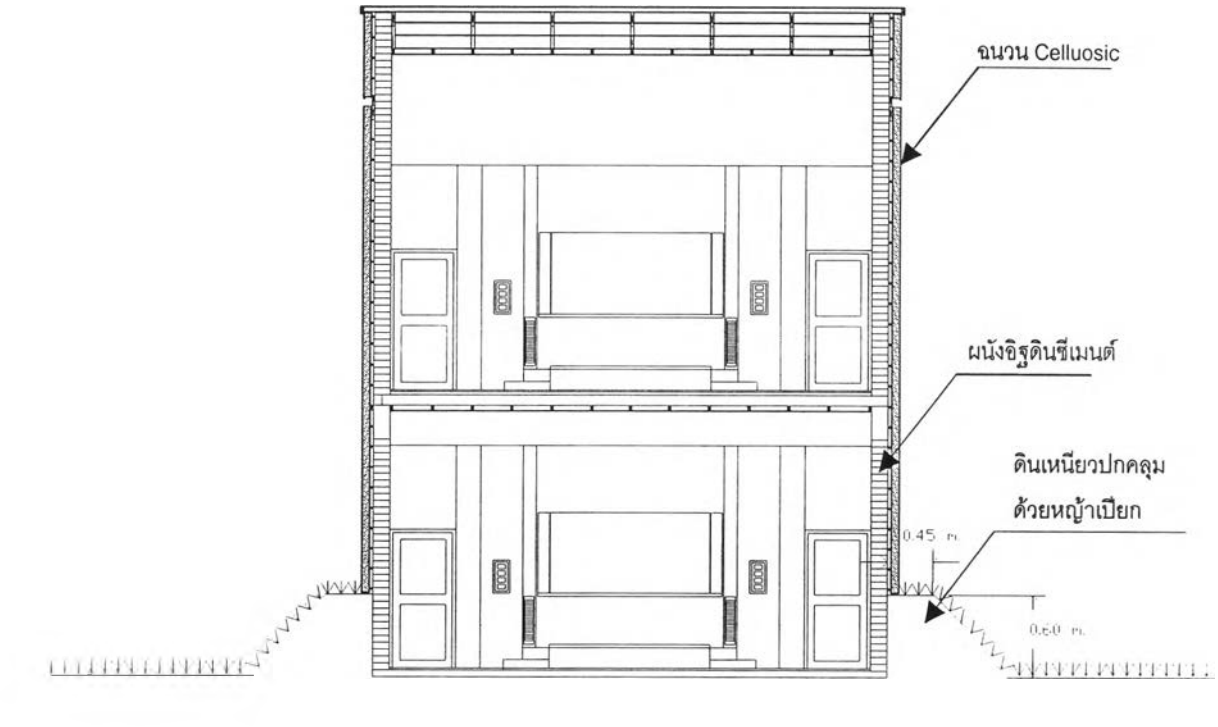
เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารเรียนชั้น 1 ระหว่างกรณีที่ไม่มีอิทธิพลจากผิวสัมผัสดินด้านข้างกับมีอิทธิพลจากผิวสัมผัสดินด้านข้าง โดยทดสอบในสภาวะที่ภายในอาคารมีแหล่งความร้อน (Internal Heat Gain) 400 Watt ซึ่งได้จากการคำนวณอัตราการเผาผลาญพลังงานจากผู้ใช้อาคาร 50 คน และทอนสัดส่วนของพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นให้เป็นมาตราส่วนเดียวกับขนาดของอาคารจำลอง[3]



ภาพที่ 3 - 18 แสดงรูปแบบการทดลองที่ 3 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในอาคารจำลองโรงเรียนต้นแบบชั้น 1 ในสภาวะที่ไม่มีดินสัมผัสผนังอาคาร

[3] สุธีวรรณ โล่สุวรรณ . การพัฒนาดัชนีสำหรับการประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานของกรอบอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . 2545.

จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่าดินเหนียวเปียกมีหญ้าปกคลุมที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0.30 ม. เป็นต้นไป เริ่มมีอุณหภูมิใกล้สภาวะน่าสบายและมีความแปรปรวนตามอุณหภูมิอากาศในรอบวันน้อย จึงนำมากำหนดเป็นปริมาตรของดินส่วนสัมผัสผนังอาคารโรงเรียนต้นแบบ โดยกำหนดความหนาของเนินดินที่ 0.45 ม. สูง 0.60 ม. ซึ่งปริมาตรดินดังกล่าว มีแนวโน้มที่จะนำไปปรุงแต่งอุณหภูมิภายในอาคารได้



ภาพที่ 3 - 19 แสดงรูปแบบการทดลองที่ 3 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในอาคารจำลองโรงเรียนต้นแบบชั้น 1 ในสภาวะมีดินสัมผัสผนังอาคาร

ตารางที่ 3 - 3 สรุปสัดส่วนพื้นที่สัมผัสดินของอาคารจำลองโรงเรียนต้นแบบชั้น 1

	พื้นที่อาคารชั้น 1 (ตร.ม)	พื้นที่สัมผัสดิน (ตร.ม)	สัดส่วนพื้นที่อาคารสัมผัสดิน (เปอร์เซ็นต์)
พื้น	4.12	4.12	100
ผนัง	11.20	2.6	25
รวม	15.32	6.62	43.2

ตัวแปรในการทดลองที่ 3

ตัวแปรต้น

- มวลสารดินรอบอาคาร

ตัวแปรตาม

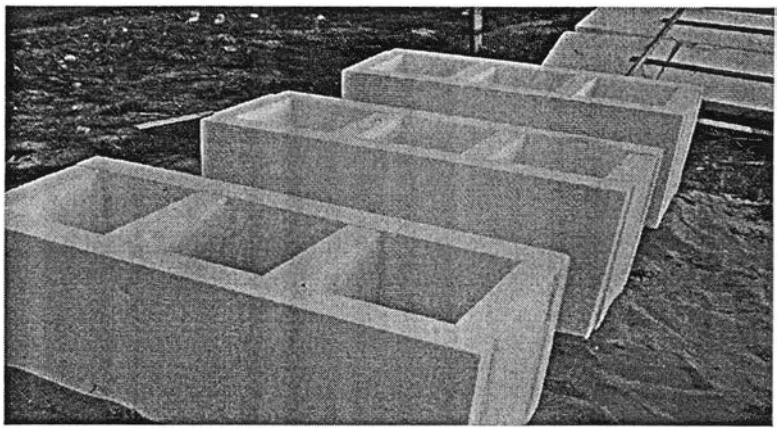
- อุณหภูมิอากาศในอาคารทดลอง
- อุณหภูมิผิวผนังอิฐดินซีเมนต์ บริเวณที่ภายนอกสัมผัสมวลสารดิน

ตัวแปรควบคุม

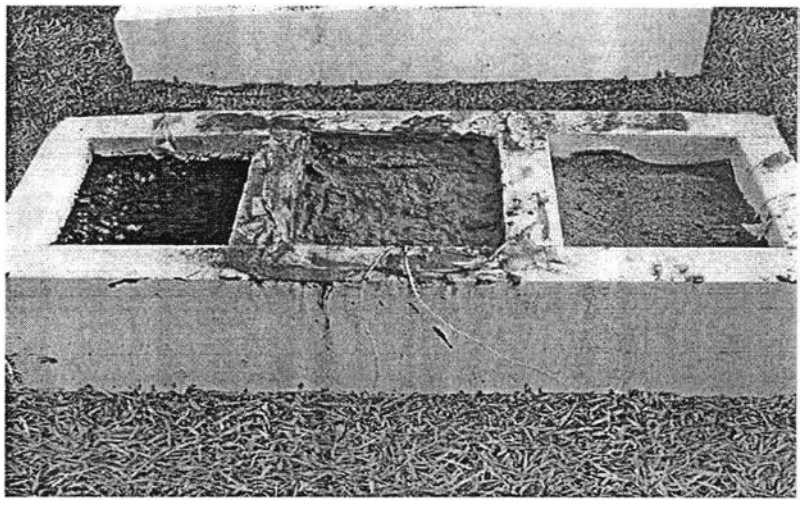
- ใช้หลอดไฟ 400 watt แทนแหล่งความร้อนภายในอาคาร ในช่วงเวลา 8:00 น. – 16:00 น.

3.3 ภาพการทดลอง

3.3.1 ขั้นตอนที่ 1 แนวทางปรุงแต่งอุณหภูมิดินที่สัมผัสผิวอาคาร



ภาพที่ 3 - 20 แสดงลักษณะกล่องสำหรับ ขั้นตอนที่ 1



ภาพที่ 3 - 21 แสดงการทอลองที่ 1.1 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชนิดดินกับความชื้นในดิน

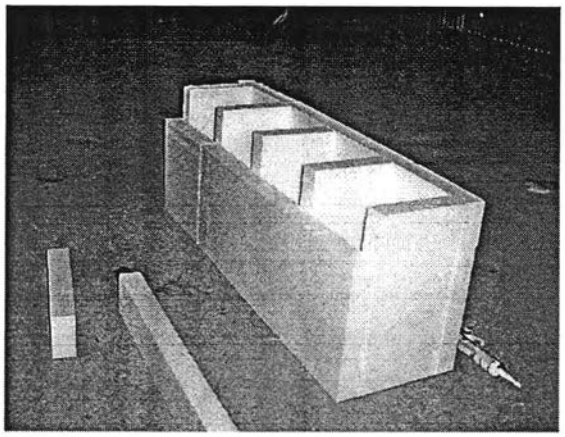
ภาพที่ 3 - 22 แสดงการทดลองที่ 1.2 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชนิดดินกับสิ่งปกคลุมดิน

ภาพที่ 3 - 23 แสดงการปรับระดับดินที่ใช้ทดลองในการทดลองที่ 1.4

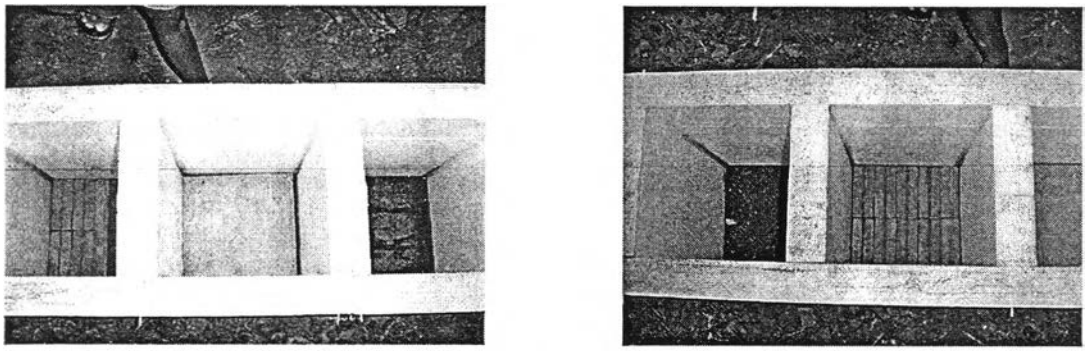
ภาพที่ 3 - 24 แสดงภาพการทดลองที่ 1.4 หลังจากปูหญ้า โดยทิ้งไว้ให้อยู่ตัว และพร้อมในการเก็บข้อมูล

3.3.2 ขั้นตอนที่ 2.1 การทดสอบชนิดของวัสดุผิวอาคารส่วนสัมผัสดินที่เหมาะสม

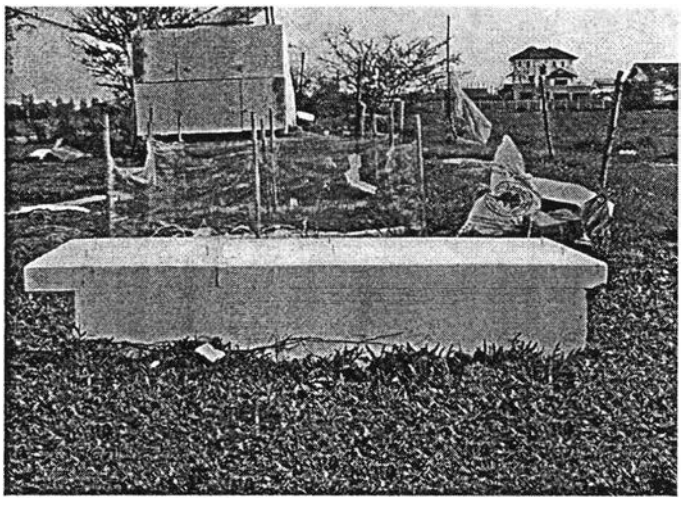
ภาพที่ 3 - 25 แสดงการเตรียมสถานที่ เพื่อติดตั้งกล่องทดลอง



ภาพที่ 3 - 26 แสดงกล่องทดลองที่ 2.1 ซึ่งใช้โฟม EPS หนา 4 นิ้วเป็นฉนวนกันความร้อนจากอิทธิพลภายนอก

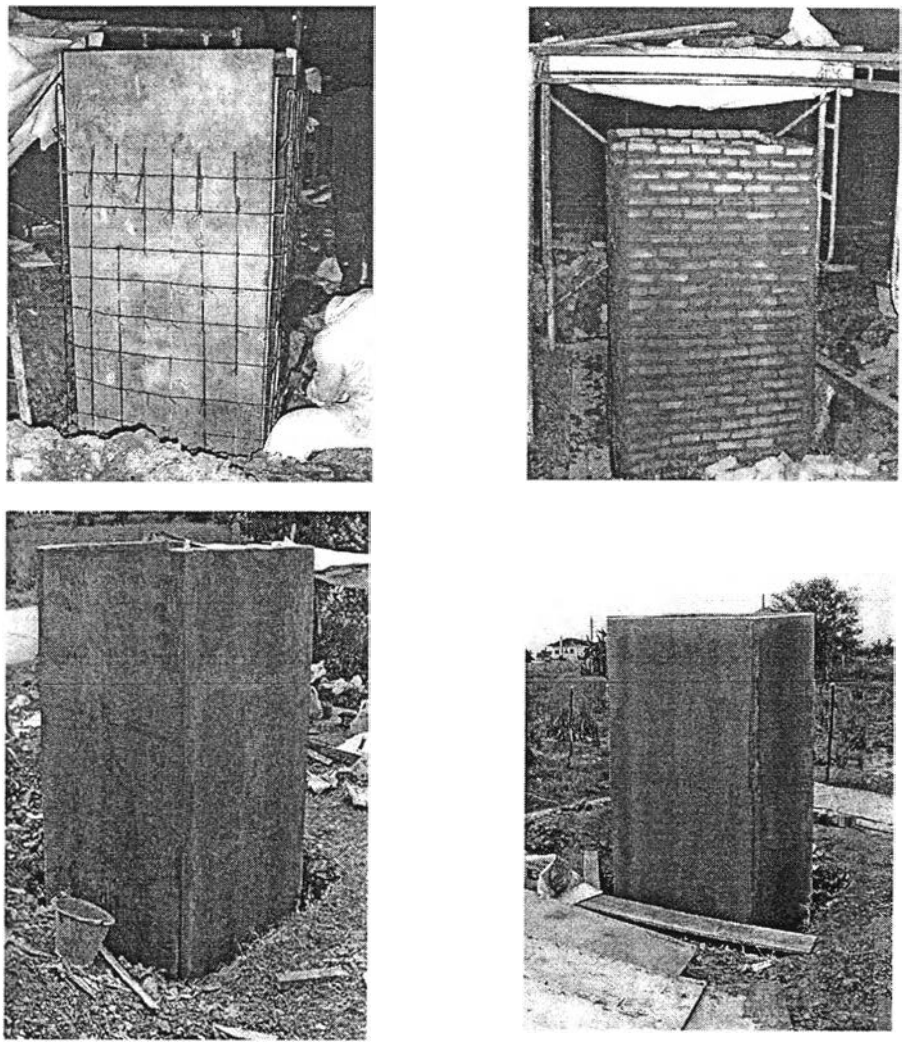


ภาพที่ 3 - 27 แสดงการติดตั้งวัสดุที่ใช้ทดสอบลงในกล่องทดลองที่ 2.1

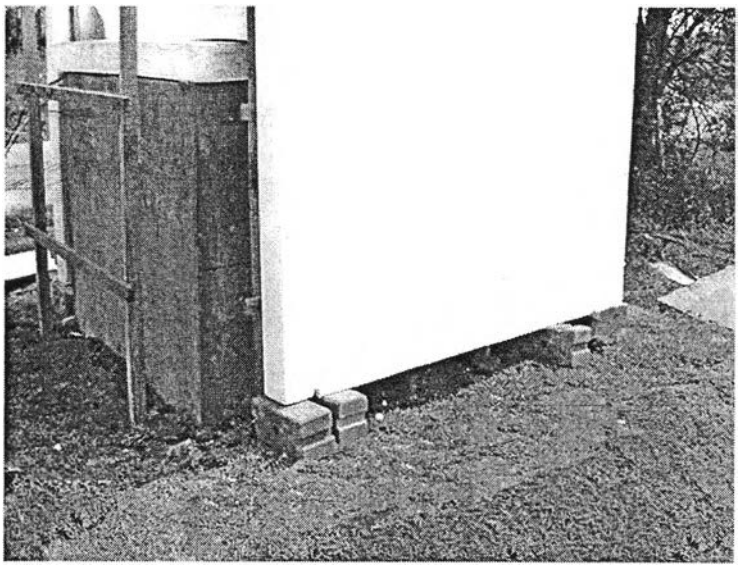


ภาพที่ 3 – 28 แสดงกล่องทดลองที่ 2.1 ทดสอบวัสดุสัมผัสดิน พร้อมเก็บข้อมูล

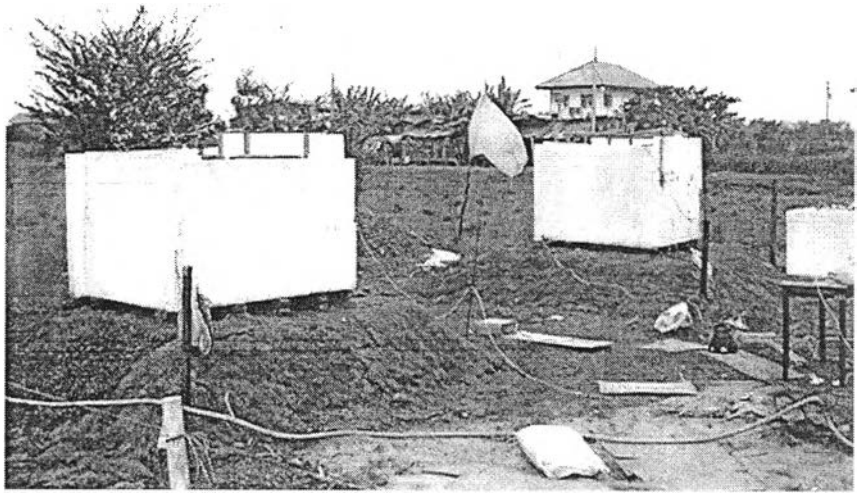
3.3.3 การทดลองที่ 2.2 การทดสอบคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับดิน



ภาพที่ 3 - 29 แสดงขั้นตอนการสร้างกล่องทดลอง สำหรับการทดลองที่ 2.2

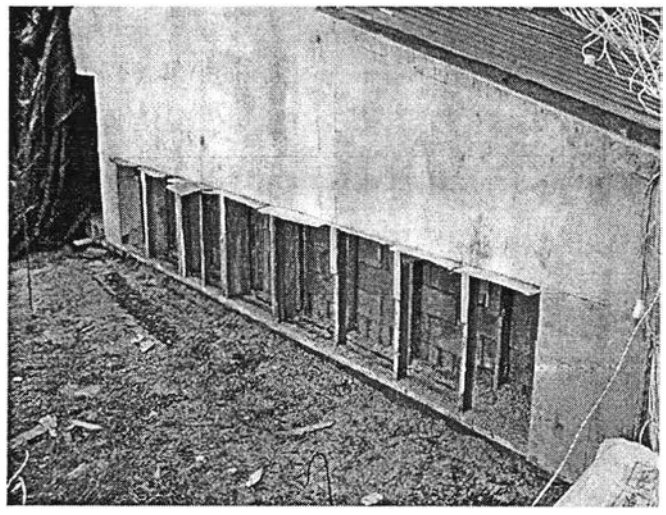


ภาพที่ 3 - 30 แสดงการปรับระดับดินรอบกล่องทดลองและติดตั้งโฟม EPS หนา 4 นิ้ว ในการทดลองที่ 2.2 เพื่อกันรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์

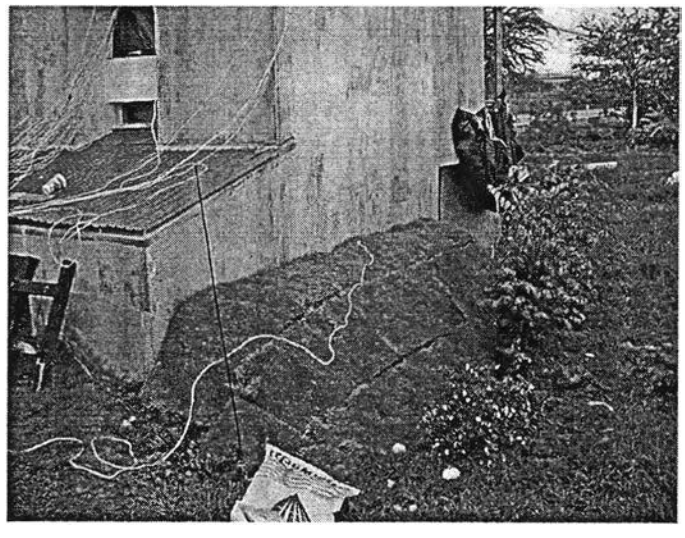


ภาพที่ 3 - 31 แสดงกล่องการทดลองที่ 2.2 พร้อมบันทึกข้อมูล

3.3.4 การทดลองที่ 3 การประยุกต์ใช้กับอาคารโรงเรียนต้นแบบ



ภาพที่ 3 - 32 แสดงการดัดแปลงผนังส่วนสัมผัสดิน ในการทดลองที่ 3 โดยเอาฉนวนแกลบออก



ภาพที่ 3 - 33 แสดงหุ่นจำลองอาคารโรงเรียนต้นแบบ ที่มีดินถมผนังอาคารทั้ง 2 ด้าน