User's Guide

โปรแกรมวิเคราะห์และประมวลผล
การทดสอบวัสดุงานทาง

RoadMatPro

version 1.0

Road Materials Laboratory Professional Program

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

chusak.k@rmutr.ac.th

คู่มือการใช้โปรแกรม

RoadMatPro

คำนำ

RoadMatPro เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบทางด้านปฐพีกลศาสตร์ของวัสดุงานทางชนิดดินและหินคลุก โดยสามารถดำเนินการรายงานผลการทดสอบได้ทั้งหมด 7 การทดสอบ ได้แก่ การทดสอบหาขีดจำกัดอัตเทอร์เบิร์ก การทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงมาตรฐาน การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ การทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน การทดสอบหาค่าซี.บี.อาร์. และการทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนามด้วยวิธีกรวยทราย ซึ่งทุกการทดสอบจะถูกจัดเก็บข้อมูลในไฟล์เดียวกัน โดยสามารถตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้งานงานทางได้ในรายงานสรุปภาพรวมของการทดสอบทั้งหมดที่สามารถใช้งานได้ในโปรแกรมนี้

ความตั้งใจของผู้พัฒนาโปรแกรมนี้เพื่อให้สามารถนำใช้งานได้ทั้งในด้านวิชาชีพสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบทางด้านวิศวกรรมปฐพี และในด้านวิชาการสำหรับการเรียนการสอนในสาขาวิศวกรรมโยธา หากมีข้อเสนอแนะใด ๆ จากผู้ใช้งานผู้เขียนขอรับไว้เพื่อนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของโปรแกรมในโอกาสถัดไป

ชูศักดิ์ คีรีรัตน์

มีนาคม 2565

กิตติกรรมประกาศ

ผู้พัฒนาโปรแกรม RoadMatPro ขอขอบคุณคณาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านปฐพีกลศาสตร์ การใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข รวมถึงการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทุกท่าน ซึ่งทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกันได้ ขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักราวุธ ตันสกุล ที่ช่วยตรวจทานเนื้อหาและให้ข้อเสนอแนะ ขอบคุณนักศึกษาที่เรียนวิชาปฐพีกลศาสตร์และวิธีการทางคอมพิวเตอร์สำหรับวิศวกรโยธาทุกคนที่ได้ทดลองใช้โปรแกรม ขอบคุณศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ได้ใช้โปรแกรมนี้ในการวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบในการให้บริการวิชาการแก่หน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน

สุดท้ายของความสำเร็จในการพัฒนาโปรแกรม RoadMatPro รวมถึงการจัดทำคู่มือการใช้งานฉบับนี้ ต้องขอบคุณกำลังใจจากครอบครัวและเพื่อนร่วมงานทุกคน

ชูศักดิ์ คีรีรัตน์

มีนาคม 2565

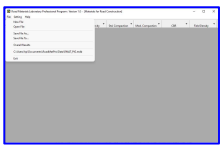
สารบัญ

หน้า

บทที่ 1

เกี่ยวกับโปรแกรม RoadMatPro Version 1.0

- บทนำ 1-1
- ความสามารถของโปรแกรม 1-2
- ข้อจำกัดของโปรแกรม 1-2
- การติดตั้งโปรแกรม 1-3
- การแก้ไขปัญหาโปรแกรมไม่แสดงฟอนต์ภาษาไทย 1-7



บทที่ 2

การใช้งานโปรแกรมหลัก

- บทนำ 2-1
- การทำงานของโปรแกรม 2-2
- การใช้งานโปรแกรม 2-5
  - การสร้างไฟล์ใหม่ 2-6
  - การเปิดไฟล์ที่มีอยู่แล้ว 2-8
  - การบันทึกชื่อไฟล์ที่กำลังใช้งานเป็นชื่ออื่น (ใช้งานชื่อใหม่) 2-10

หน้า

- การบันทึกชื่อไฟล์ที่กำลังใช้งานเป็นชื่ออื่น (ใช้งานชื่อเดิม) 2-11
- การเรียกดูภาพรวมของผลการทดสอบทั้งหมด 2-13
- การเปิดไฟล์ล่าสุดที่ใช้งาน 2-16
- การกำหนดโลโก้สัญลักษณ์และชื่อหน่วยงานส่วนหัวใบรายงานผลการทดสอบ 2-17
- การกำหนดโลโก้สัญลักษณ์ส่วนหัวใบปกรายงานผลการทดสอบและชื่อหน่วยงานผู้ออกผลการทดสอบ 2-21
- การกำหนดรายชื่อบุคลากรผู้ปฏิบัติงาน 2-26
- การเรียกดูคู่มือการใช้โปรแกรม 2-29
- การเรียกดูข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม 2-30

บทที่ 3

การหาขีดจำกัดอัตเทอร์เบิร์ก

- บทนำ 3-1
- การทำงานของโปรแกรม 3-4
- การใช้งานโปรแกรม 3-8
  - การเตรียมข้อมูล 3-8
  - การป้อนข้อมูล 3-9
  - การบันทึกข้อมูล 3-12
  - การคำนวณ 3-12
  - การประมวลผลของโปรแกรม 3-14
  - การหาค่าขีดจำกัดเหลวและดัชนีพลาสติก 3-15
  - การรายงานผลทางเครื่องพิมพ์ 3-16

หน้า

บทที่ 4

การหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน

- บทนำ 4-1
- การทำงานของโปรแกรม 4-3
- การใช้งานโปรแกรม 4-17
  - การเตรียมข้อมูล 4-17
  - การป้อนข้อมูล 4-18
  - การบันทึกข้อมูล 4-22
  - การคำนวณ 4-23
  - การประมวลผลของโปรแกรม 4-25
  - การเขียนเส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน 4-25
  - การจำแนกประเภทของดิน 4-28
  - การรายงานผลทางเครื่องพิมพ์ 4-42

บทที่ 5

การหาความถ่วงจำเพาะของดิน

- บทนำ 5-1
- การทำงานของโปรแกรม 5-3
- การใช้งานโปรแกรม 5-7
  - การเตรียมข้อมูล 5-7
  - การป้อนข้อมูล 5-8
  - การบันทึกข้อมูล 5-11
  - การคำนวณ 5-12
  - การประมวลผลของโปรแกรม 5-14
  - การรายงานผลทางเครื่องพิมพ์ 5-15

หน้า

บทที่ 6

การหาพารามิเตอร์การบดอัด

- บทนำ 6-1
- การทำงานของโปรแกรม 6-3
- การใช้งานโปรแกรม 6-7
  - การเตรียมข้อมูล 6-7
  - การป้อนข้อมูล 6-8
  - การบันทึกข้อมูล 6-12
  - การคำนวณ 6-13
  - การประมวลผลของโปรแกรม 6-14
  - การเขียนเส้นโค้งการบดอัดและหาค่าพารามิเตอร์การบดอัด 6-14
  - การเขียนเส้นร้อยละอากาศ 6-15
  - การรายงานผลทางเครื่องพิมพ์ 6-16

บทที่ 7

การหาค่า ซี.บี.อาร์.

- บทนำ 7-1
- การทำงานของโปรแกรม 7-2
- การใช้งานโปรแกรม 7-9
  - การเตรียมข้อมูล 7-10
  - การป้อนข้อมูล 7-12
  - การบันทึกข้อมูล 7-16
  - การคำนวณ 7-17
  - การประมวลผลของโปรแกรม 7-19

หน้า

- การหาค่าซี.บี.อาร์. 7-20
- การรายงานผลทางเครื่องพิมพ์ 7-26

บทที่ 8

การหาความหนาแน่นของดินในสนามด้วยวิธีกรวยทราย

- บทนำ 8-1
- การทำงานของโปรแกรม 8-2
- การใช้งานโปรแกรม 8-5
  - การเตรียมข้อมูล 8-5
  - การป้อนข้อมูล 8-7
  - การบันทึกข้อมูล 8-13
  - การคำนวณ 8-13
  - การประมวลผลของโปรแกรม 8-15
  - การรายงานผลทางเครื่องพิมพ์ 8-17

บรรณานุกรม อ-1

บทที่ 1

เกี่ยวกับโปรแกรม RoadMatPro Version 1.0

บทนำ

โปรแกรม RoadMatPro เป็นชุดโปรแกรมที่พัฒนาด้วยภาษาวิชวลเบสิก มีการทำงานในรูปแบบติดต่อผู้ใช้งานแบบกราฟิก (Graphic User Interface, GUI) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถสั่งให้โปรแกรมทำงานผ่านทางวัตถุ (Object) ได้แก่ ฟอร์ม คอนโทลต่าง ๆ และเครื่องพิมพ์ ทั้งนี้ด้วยความตั้งใจในการช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถลดระยะเวลาในการวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบ ลดความผิดพลาดจากการเขียนและอ่านค่าจากกราฟความสัมพันธ์ต่าง ๆ โดยโปรแกรม RoadMatPro เป็นการบูรณาการความรู้ทางด้านการวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมปฐพีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุงานทาง การใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข การโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และการจัดการไฟล์ด้วยฐานข้อมูลไมโครซอฟต์แอคเซส

โปรแกรม RoadMatPro ประกอบด้วยโปรแกรมหลักซึ่งใช้ในการจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานโปรแกรม และโปรแกรมย่อยซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบทั้งหมด 7 โปรแกรม โดยรายละเอียดขั้นตอนการใช้งาน ตัวอย่างการใช้งาน รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องได้อธิบายไว้แล้วในบทถัดไป การทำงานของโปรแกรมสามารถใช้งานข้อมูลร่วมกันได้ภายใต้โครงการก่อสร้างเดียวกันเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุดินและหินคลุกที่นำมาใช้เป็นวัสดุงานทาง ซึ่งสามารถนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้งานได้ทั้งในด้านวิชาชีพสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบทางด้านปฐพีกลศาสตร์ และในด้านวิชาการสำหรับการเรียนการสอนในสาขาวิศวกรรมโยธา นอกจากนี้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบของศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ซึ่งใช้ในการรายงานผลการทดสอบให้กับหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน และยังใช้ประกอบในการเรียนการสอนรายวิชา ปฐพีกลศาสตร์ ปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ และวิธีการทางคอมพิวเตอร์สำหรับวิศวกรโยธาด้วย

ความสามารถของโปรแกรม

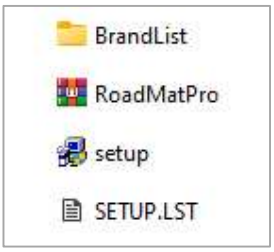
- สามารถสร้างไฟล์จัดเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ฐานข้อมูลซึ่งทำให้สามารถใช้ข้อมูลร่วมกันในแต่ละการทดสอบ สามารถเรียกดูย้อนหลังได้หรือทำการแก้ไขได้
- สามารถบันทึกไฟล์หรือทำสำเนาไฟล์เป็นชื่ออื่นได้
- สามารถเรียกดูผลการทดสอบทั้งหมดในตารางเดียวกันได้
- สามารถบันทึกหรือเปลี่ยนแปลงรายชื่อผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทดสอบได้
- สามารถเปลี่ยนแปลงตราสัญลักษณ์ รายชื่อหน่วยงาน หน่วยทดสอบในใบรายงานผลการทดสอบได้
- สามารถป้อนข้อมูลในรูปแบบตารางซึ่งมีลักษณะเหมือนการใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลซึ่งผู้ใช้งานมีความคุ้นเคยอยู่แล้ว
- สามารถนำข้อมูลผลการทดสอบที่เกี่ยวข้องไปใช้ในการประมวลผลการทดสอบอื่นได้
- สามารถนำข้อมูลผลการทดสอบไปใช้ในการจำแนกประเภทของดินได้ทั้งวิธี USCS และ AASHTO
- สามารถรายงานผลได้ทั้งทางหน้าจอและเครื่องพิมพ์
- สามารถวิเคราะห์และประมวลผลได้ทั้งวัสดุดินและหินคลุกในโครงการก่อสร้างเดียวกัน
- การสร้างกราฟต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องการการรายงานผลการทดสอบใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข
- มีคู่มือการใช้ซึ่งสามารถเรียกดูผ่านโปแกรมได้

ข้อจำกัดของโปรแกรม

- สามารถวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบเฉพาะทางด้านปฐพีกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุสำหรับงานทางเท่านั้น

การติดตั้งโปรแกรม

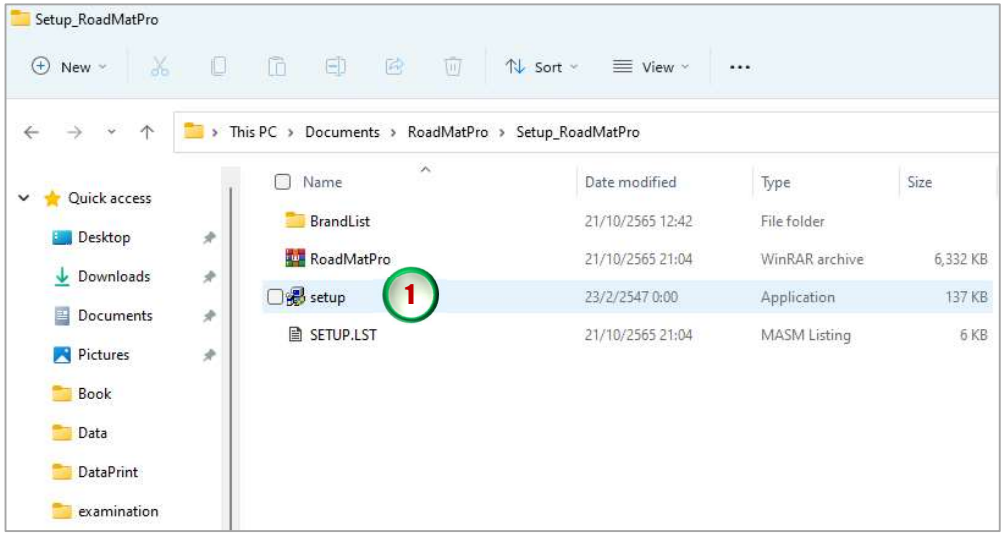
ไฟล์สำหรับใช้ในการติดตั้งโปรแกรม RoadMatPro ดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย



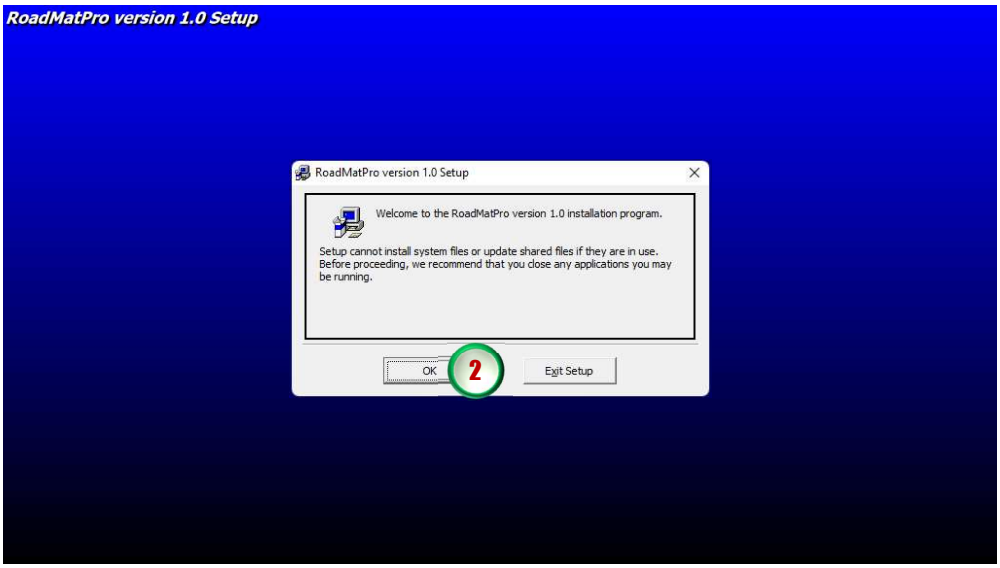
1. setup เป็นไฟล์ติดตั้งโปรแกรม
2. SETUP.LST เป็นไฟล์ประกอบสำหรับการติดตั้งโปรแกรม
3. RoadMatPro เป็นไฟล์บีดอัดที่เก็บข้อมูลของโปรแกรมที่จะต้องถูกติดตั้งลงในคอมพิวเตอร์
4. BrandList เป็นโฟลเดอร์ที่เก็บไฟล์โลโก้ ไฟล์ข้อมูลบุคลากร ไฟล์คู่มือการใช้

รายละเอียดขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม อธิบายได้ดังต่อไปนี้

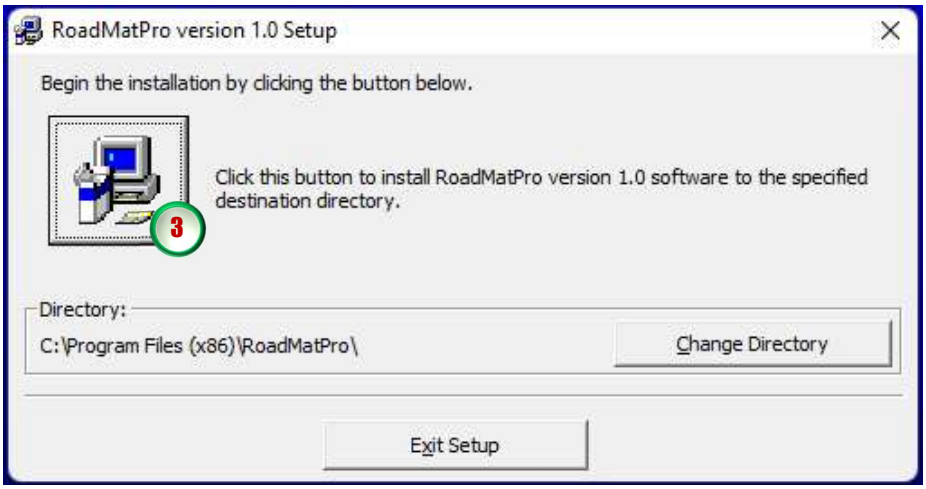
1. ดับเบิ้ลคลิกไฟล์ setup



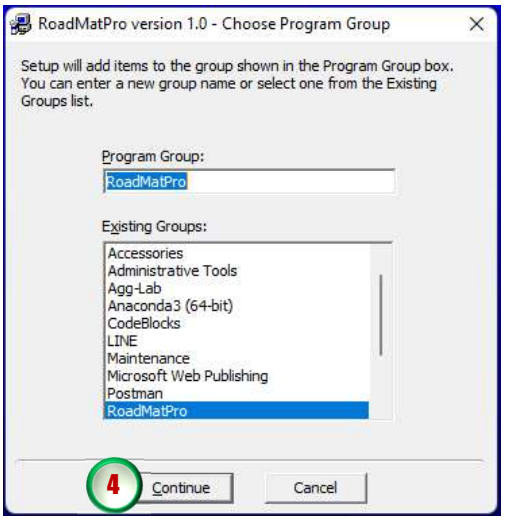
2. จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่างให้คลิกปุ่ม OK



3. จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง ให้คลิกปุ่มรูปคอมพิวเตอร์

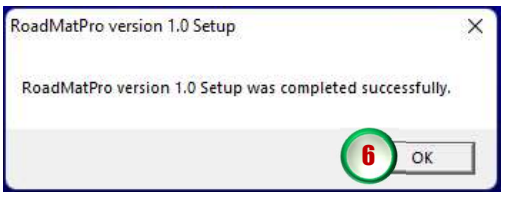


4. จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง ให้คลิกปุ่ม Continue

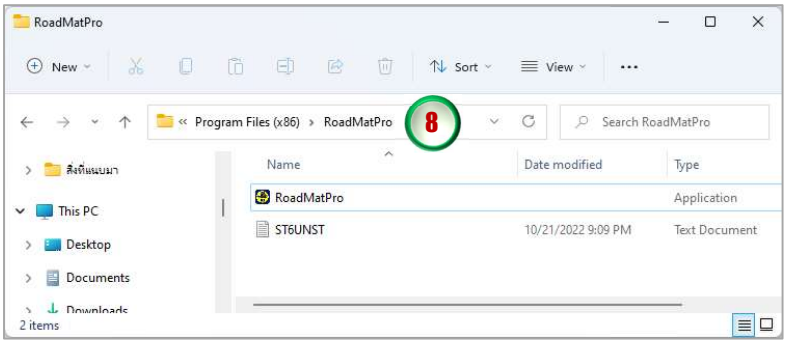


5. หากในระหว่างการติดตั้งปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง ให้คลิกปุ่ม Yes

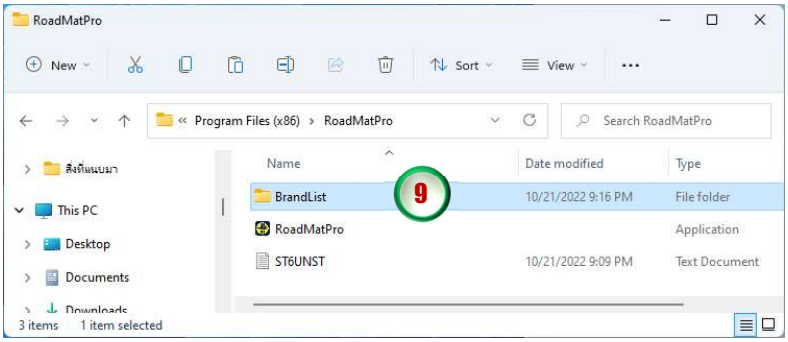
6. เมื่อสิ้นสุดการติดตั้งโปรแกรมจะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง ให้คลิกปุ่ม OK



7. คัดลอกโฟลเดอร์ BrandList จากไฟล์ติดตั้ง
8. เปิดตำแหน่งที่จัดเก็บไฟล์โปรแกรม C:\Program Files (x86)\RoadMatPro ดังรูปข้างล่าง

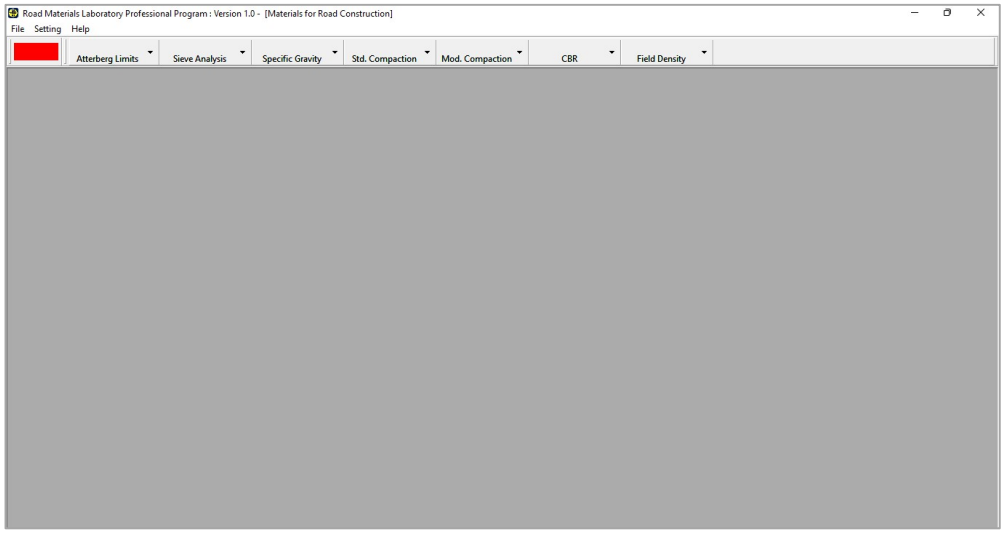


9. วางโฟลเดอร์ BrandList ที่คัดลอกไว้แล้วลงไปยังตำแหน่งที่จัดเก็บไฟล์โปรแกรม ดังรูปข้างล่าง



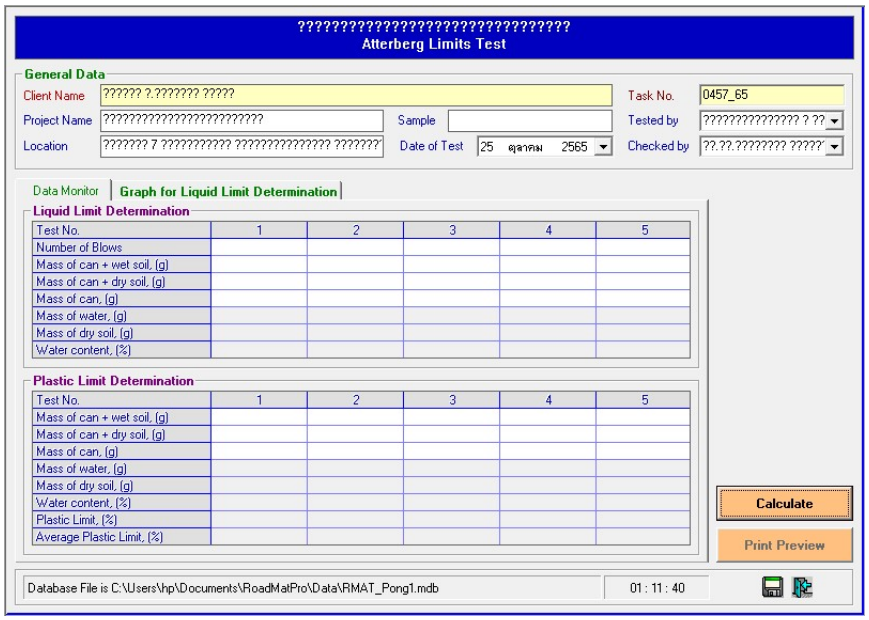
10. เสร็จสิ้นการติดตั้งโปรแกรม RoadMatPro
11. สร้าง Shortcut โปรแกรมที่หน้าจอ Desktop จะปรากฏไอคอนโปรแกรม ดังรูปข้างล่าง

12. ทดลองใช้งานโปรแกรมโดยดับเบิ้ลคลิกที่ไอคอนโปรแกรม จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง

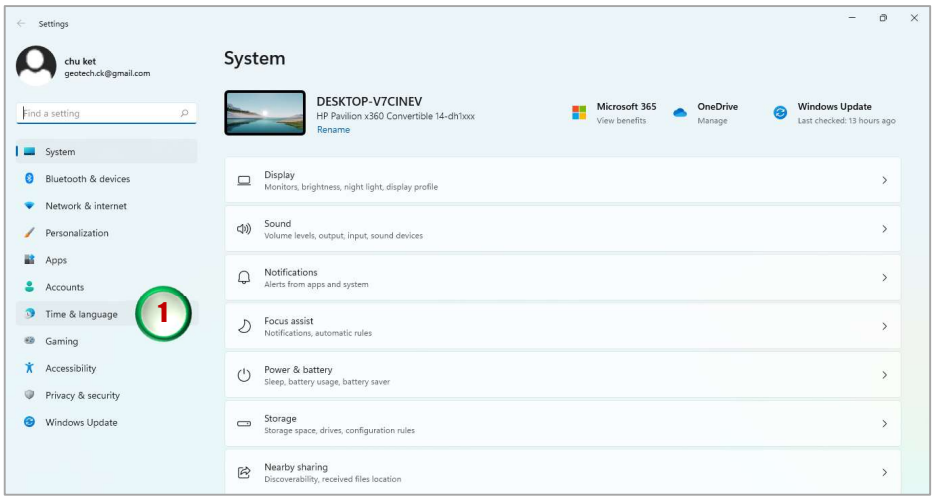


การแก้ไขปัญหาโปรแกรมไม่แสดงฟอนต์ภาษาไทย

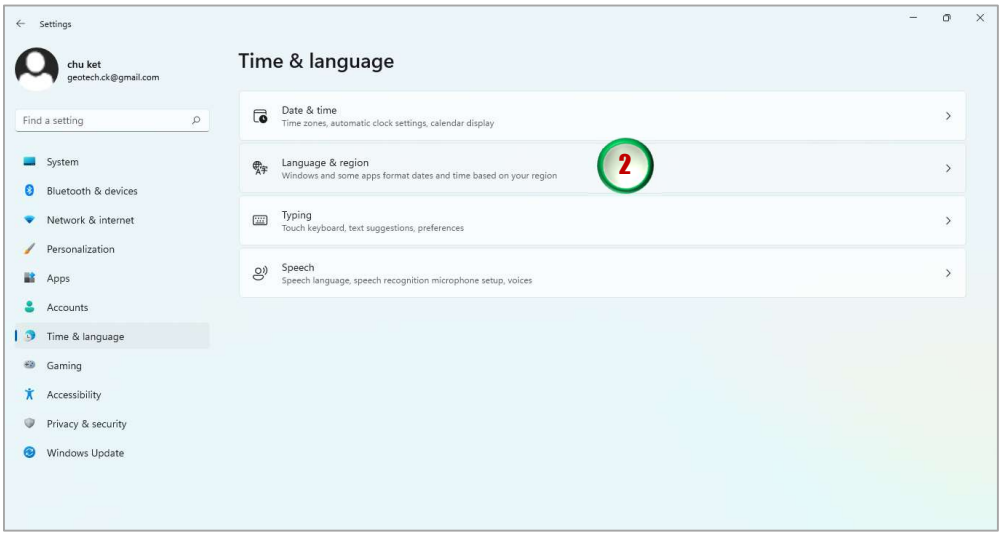
กรณีเปิดใช้งานโปรแกรม RoadMatPro แล้วไม่แสดงฟอนต์ภาษาไทยหรือพิมพ์ภาษาไทยไม่ได้ ดังรูปข้างล่าง ให้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้



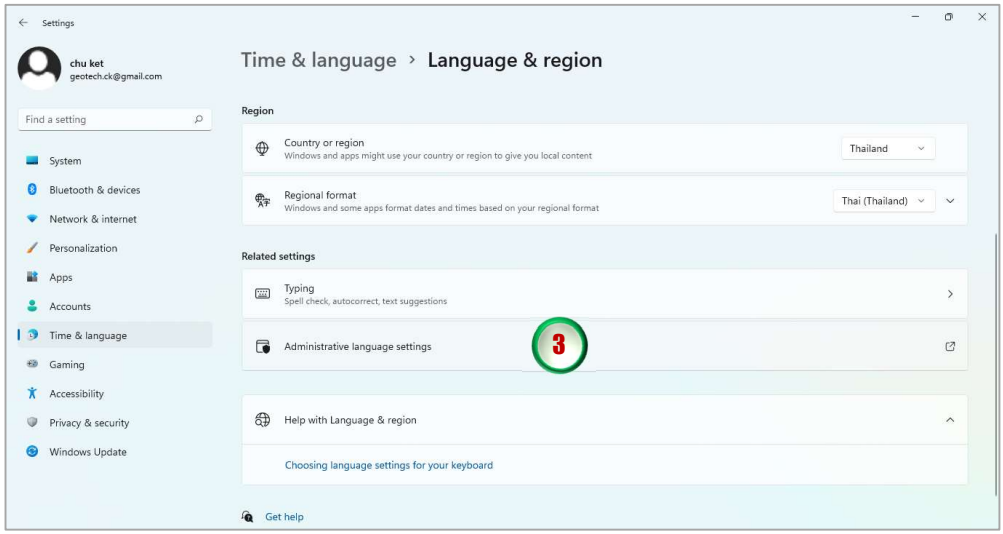
1. เข้าไปยัง Settings จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง แล้วคลิกเลือก Time & Language



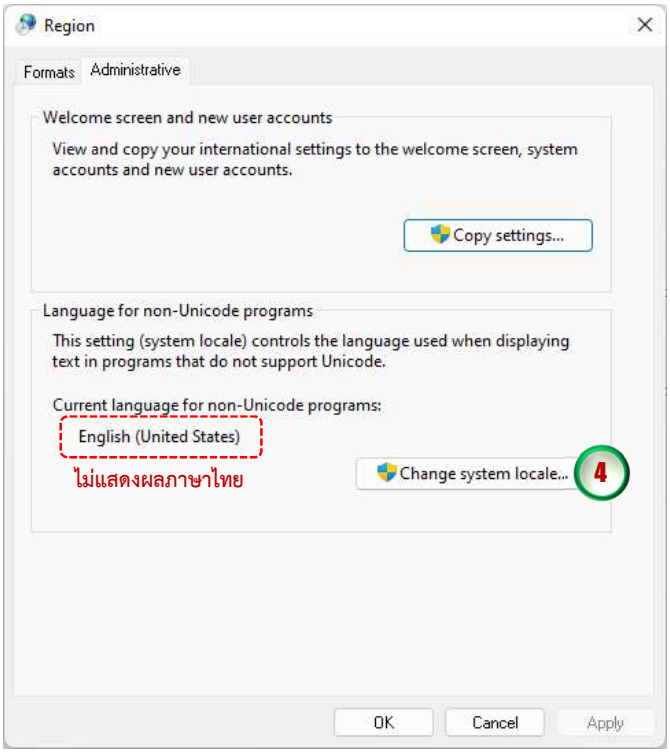
2. จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง ให้คลิกเลือก Language & region



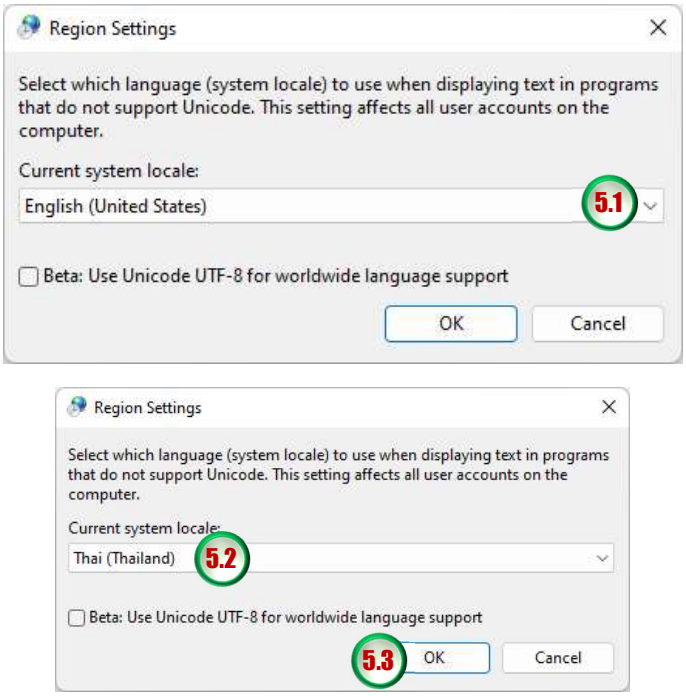
3. จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง ให้เลือก Administrative language settings



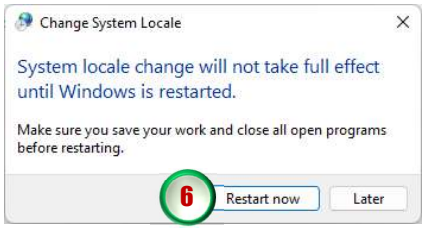
4. จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง ให้คลิกปุ่ม Change system locale...



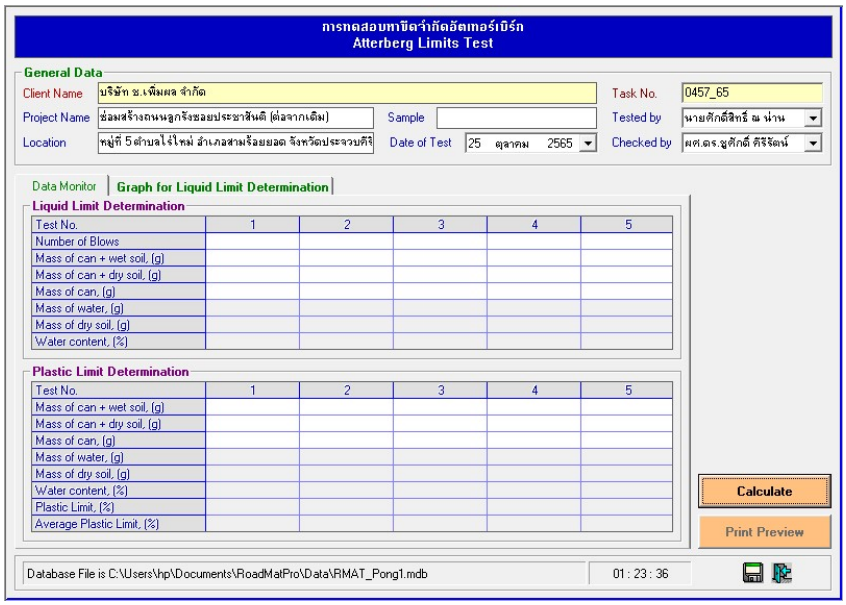
5. จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง ให้คลิกที่หัวลูกศรชี้ลงจะปรากฏรายการภาษาต่าง ๆ ให้เลือก Thai (Thailand) แล้วคลิกปุ่ม OK

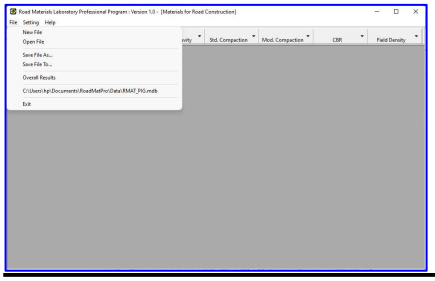


6. จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง คลิกปุ่ม Restart now รอจนคอมพิวเตอร์เปิดใช้งาน



7. ลองเปิดใช้งานโปรแกรมใหม่ จะแสดงฟอนต์ภาษาไทยโปรแกรมสามารถแสดงฟอนต์ภาษาไทยได้แล้ว ดังรูปข้างล่าง


การทดสอบหาขีดจำกัดอัตเทอร์เบิร์ก
Atterberg Limits Test
General Data
Client Name
บริษัท ช.เพิ่มผล จำกัด
Task No.
0457_65
Project Name
ซ่อมสร้างถนนลูกรังชอยประชาสันติ (ต่อจากเดิม)
Sample
Tested by
นายศักดิ์สิทธิ์ ณ น่าน
Location
หมู่ที่ 5 ตำบลไร่ใหม่ อำเภอสามร้อยยอด จังหวัดประจวบคีรี
Date of Test
25 ตุลาคม 2565
Checked by
ผศ.ดร.ศุศักดิ์ ศิริจันต์
Data Monitor
Graph for Liquid Limit Determination
Liquid Limit Determination
Test No. 1 2 3 4 5
Number of Blows
Mass of can + wet soil, (g)
Mass of can + dry soil, (g)
Mass of can, (g)
Mass of water, (g)
Mass of dry soil, (g)
Water content, (%)
Plastic Limit Determination
Test No. 1 2 3 4 5
Mass of can + wet soil, (g)
Mass of can + dry soil, (g)
Mass of can, (g)
Mass of water, (g)
Mass of dry soil, (g)
Water content, (%)
Plastic Limit, (%)
Average Plastic Limit, (%)
Calculate
Print Preview
Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\Data\RMAT_Pong1.mdb
01 : 23 : 36



บทที่ 2

การใช้งานโปรแกรมหลัก
Main Program

บทนำ

โปรแกรม RoadMatPro เป็นชุดโปรแกรมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบวัสดุงานดิน (Soil) และหินคลุก (Crushed Rock) โดยสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยให้ผู้ใช้งานวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง ช่วยเขียนกราฟความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดสอบด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขและลดความผิดพลาดจากการอ่านค่าจากกราฟ มีลักษณะการป้อนข้อมูลเหมือนกับการใช้งานไมโครซอฟต์เอ็กเซล และจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ฐานข้อมูลไมโครซอฟต์แอคเซส โดยข้อมูลของทุกการทดสอบจะถูกจัดเก็บไว้ในไฟล์เดียวกันสามารถใช้เป็นไฟล์ส่วนกลางที่สามารถเรียกใช้งานได้จากทุกการทดสอบรวมทั้งโปรแกรมหลักด้วย อีกทั้งยังสามารถเรียกดูสรุปผลการทดสอบทั้งหมดในภาพรวมได้ ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและตัดสินใจในการเลือกใช้วัสดุงานทางได้โดยง่ายโดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์ข้อกำหนดของมาตรฐานวัสดุงานทาง

โปรแกรม RoadMatPro สามารถใช้วิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกและตรวจสอบวัสดุงานทางดังนี้

- การทดสอบหาขีดจำกัดอัตเทอร์เบิร์ก (ASTM D-4318)
- การทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (ASTM D-422)
- การจำแนกประเภทของดิน USCS (ASTM D-2487) AASHTO (ASTM D-3282)
- การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน (ASTM D-854)
- การทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (ASTM D-698, AASHTO T-99)
- การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (ASTM D-1157, AASHTO T-180)
- การทดสอบหาค่าซี.บี.อาร์. (ASTM D-4318)
- การทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนามด้วยวิธีกรวยทราย (ASTM D-1556)

การทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมหลักเป็นส่วนที่ช่วยในการจัดการข้อมูล (File) การกำหนดการแสดงผล (Setting) และการแสดงคู่มือการใช้โปรแกรม และข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม (Help) โดยขั้นตอนการทำงานในภาพรวมของโปรแกรม RoadMatPro ดังรูปที่ 1

รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม อธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. การเลือกเมนูหลักจากโปรแกรมสามารถเลือกได้ 3 เมนู ดังนี้

1.1 เมนู **File** ประกอบด้วยเมนูย่อย ได้แก่

- เมนู *New* ใช้สำหรับสร้างไฟล์ใหม่
- เมนู *Open* ใช้สำหรับเปิดไฟล์เดิมที่มีอยู่แล้ว
- เมนู *Save File As...* ใช้สำหรับบันทึกชื่อไฟล์ที่กำลังใช้งานเป็นชื่ออื่น โดยจะเปลี่ยนไปใช้งานไฟล์ที่บันทึกเป็นชื่อใหม่
- เมนู *Save File to...* ใช้สำหรับบันทึกชื่อไฟล์ที่กำลังใช้งานเป็นชื่ออื่น โดยยังคงใช้งานไฟล์เดิม
- เมนู *Overall Results* ใช้แสดงภาพรวมของผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้ทำการทดสอบไปแล้ว
- เมนู *File Recent* ใช้สำหรับเปิดไฟล์ล่าสุดที่ใช้งาน
- เมนู *Exit* ใช้สำหรับออกจากโปรแกรม

1.2 เมนู **Setting** ประกอบด้วยเมนูย่อย ได้แก่

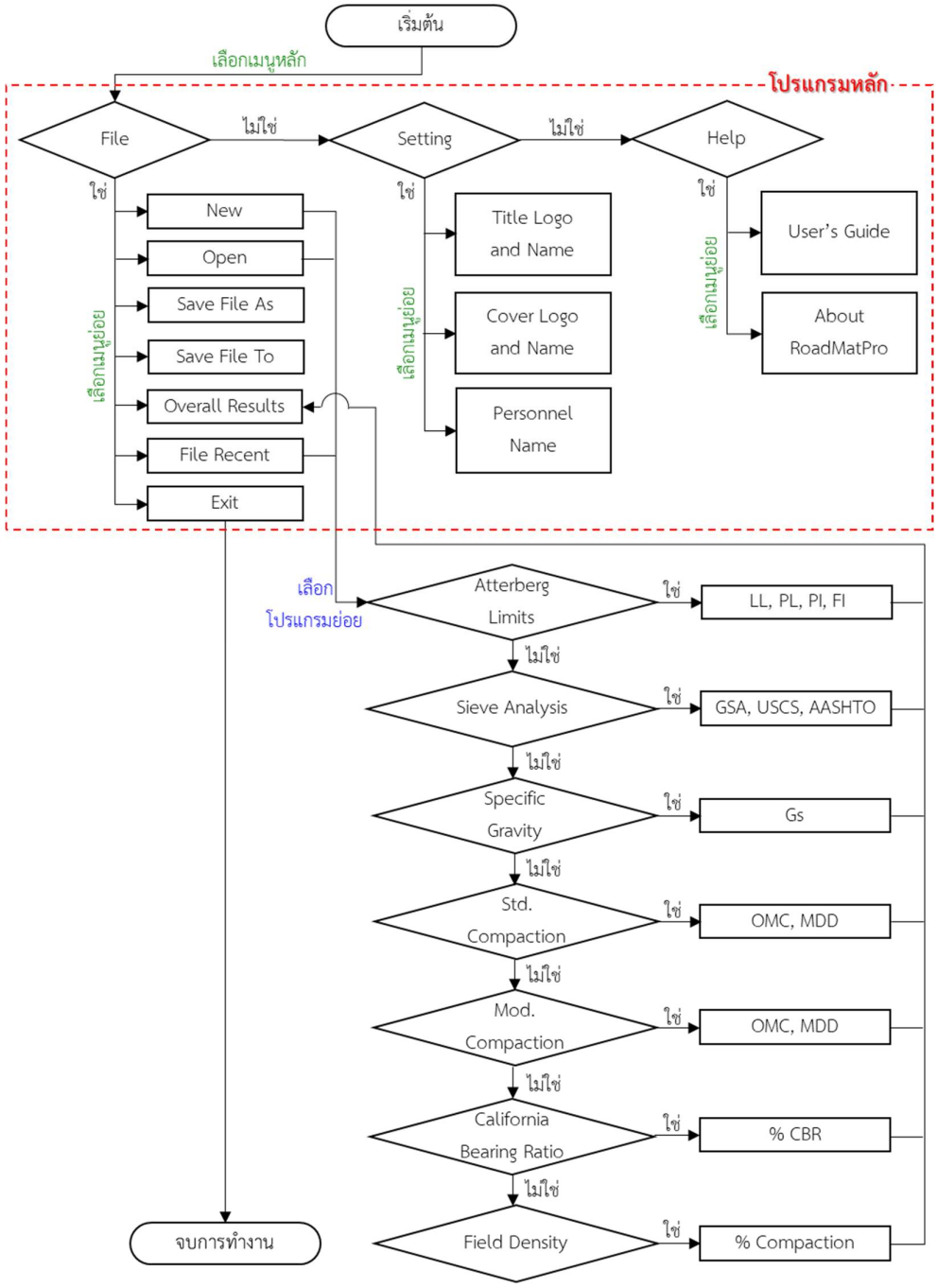
- เมนู *Head Logo and Name* ใช้สำหรับกำหนดโลโก้สัญลักษณ์และชื่อหน่วยงานส่วนหัวใบรายงานผลการทดสอบ
- เมนู *Cover Logo and Name* ใช้สำหรับกำหนดโลโก้สัญลักษณ์ส่วนหัวใบปกรายงานผลการทดสอบและชื่อหน่วยงานผู้ออกผลการทดสอบ
- เมนู *Personnel Name* ใช้สำหรับกำหนดรายชื่อบุคลากรผู้ปฏิบัติงาน

1.3 เมนู **Help** ประกอบด้วยเมนูย่อย ได้แก่

- เมนู *User's Guide* ใช้สำหรับแสดงคู่มือการใช้เป็นไฟล์ PDF
- เมนู *About RoadMatPro* ใช้สำหรับแสดงข้อมูลที่เกี่ยวกับโปรแกรม

2. หลังจากเลือกเมนูย่อย New หรือ Open หรือ File Recent แล้วจึงจะสามารถเลือกใช้งานโปรแกรมย่อยได้

3. เมื่อดำเนินการประมวลผลและบันทึกผลการทดสอบของแต่ละโปรแกรมย่อย ข้อมูลผลการทดสอบจะถูกส่งไปจัดเก็บในไฟล์ฐานข้อมูลสำหรับใช้ในการดูภาพรวมของผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้ทำการทดสอบไปแล้ว ผ่านทางเมนู *Overall Results*

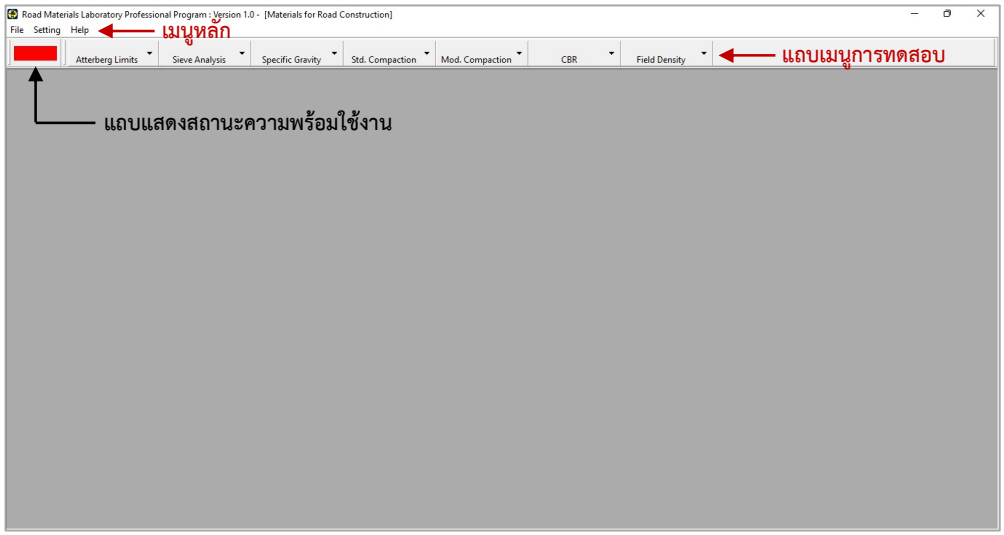


รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม RoadMatPro

การใช้งานโปรแกรม

การเริ่มใช้งานโปรแกรม RoadMatPro สามารถทำได้โดยการคลิกที่ไอคอน จาก Start Menu หรือดับเบิลคลิกที่ไอคอน ที่หน้า Desktop จะปรากฏหน้าจอที่เรียกว่า Splash Screen ขึ้นมาก่อนดังรูปข้างล่าง

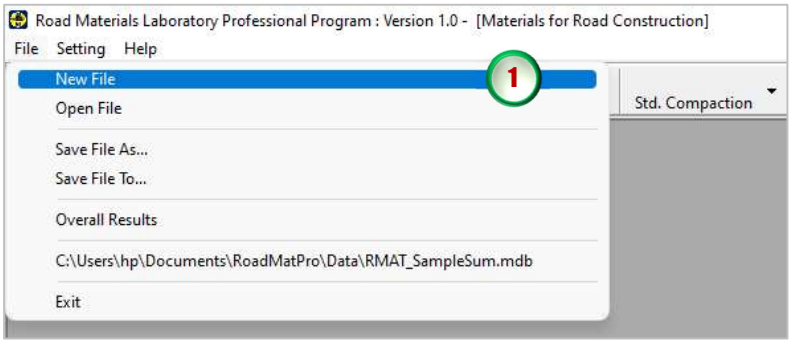
แล้วจึงแสดงหน้าจอของโปรแกรมหลักดังรูปข้างล่าง



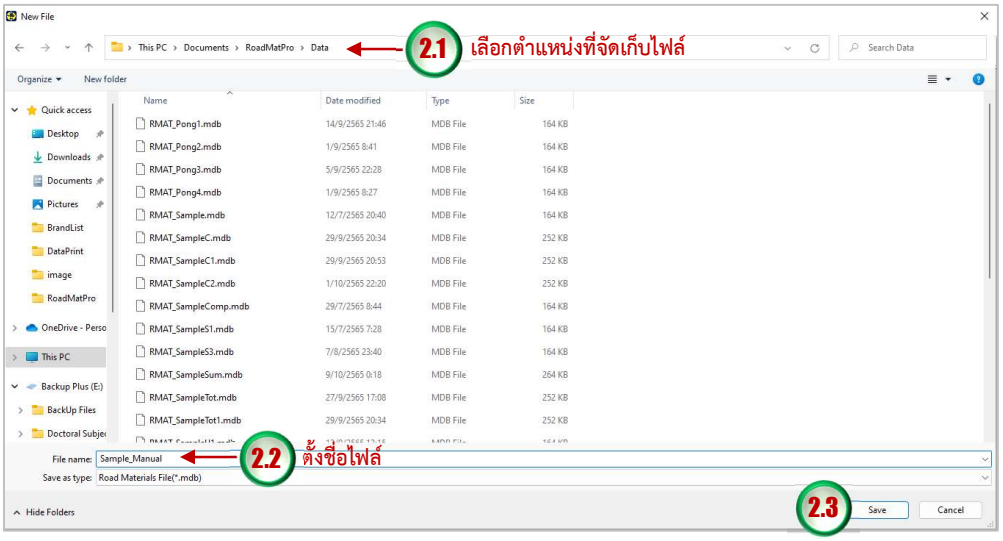
การสร้างไฟล์ใหม่

ผู้ใช้งานสามารถสร้างไฟล์ใหม่ได้โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. คลิกเลือกเมนู New File ดังรูปข้างล่าง

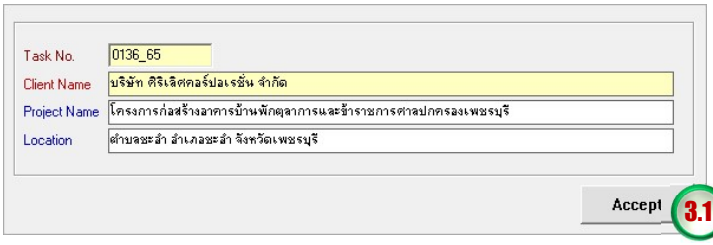


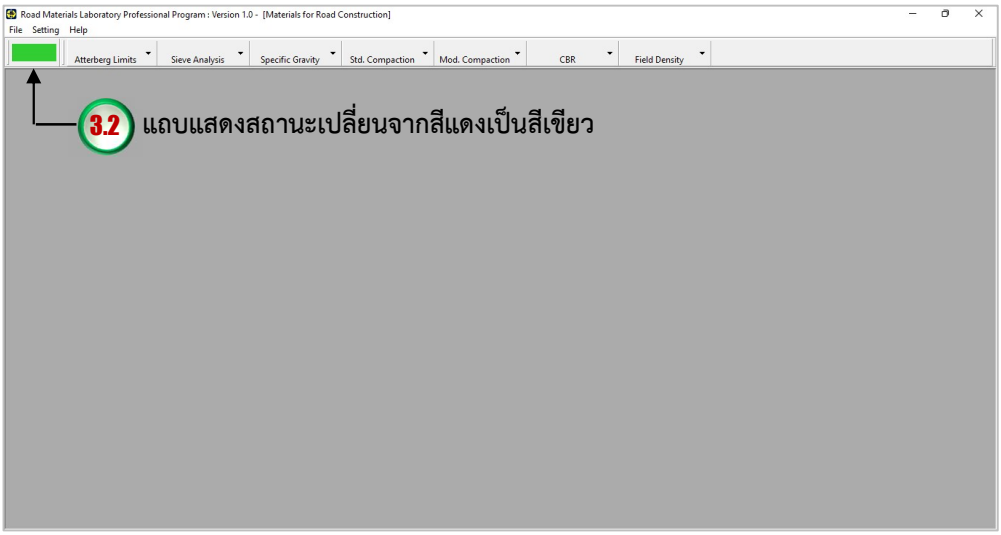
2. เมื่อปรากฏหน้าจอข้างล่าง ให้เลือกตำแหน่งที่จัดเก็บไฟล์ และตั้งชื่อไฟล์ตามลำดับ ดังรูปข้างล่าง

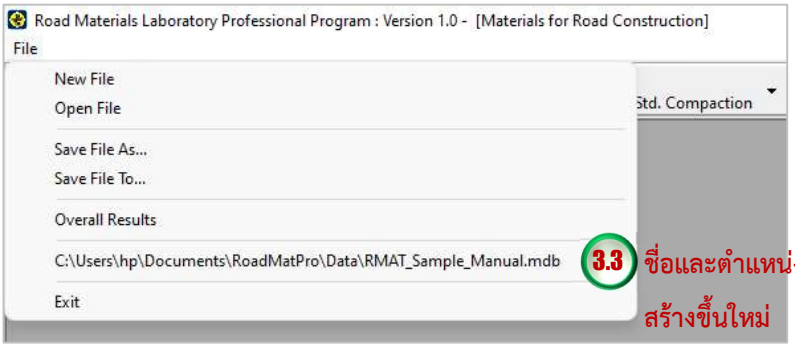


3. เมื่อคลิกปุ่ม Save โปรแกรมจะสร้างไฟล์ฐานข้อมูลให้ด้วยภาษา SQL มีนามสกุล .mdb และแสดงหน้าจอให้ป้อนข้อมูล หมายเลขงาน (Task No.) ชื่อผู้รับบริการ (Client Name) ชื่อโครงการ (Project Name) และสถานที่ตั้งโครงการ (Location) เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้วให้คลิกปุ่ม Accept

โปรแกรมจะปิดหน้าจอ แถบแสดงสถานะความพร้อมใช้งานจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเขียว หมายถึง โปรแกรมวิเคราะห์ประมวลผลการทดสอบพร้อมใช้งาน และชื่อไฟล์ที่สร้างขึ้นจะไปปรากฏในเมนู File Recent ดังรูปข้างล่าง สำหรับข้อมูลดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อใช้โปรแกรมย่อย



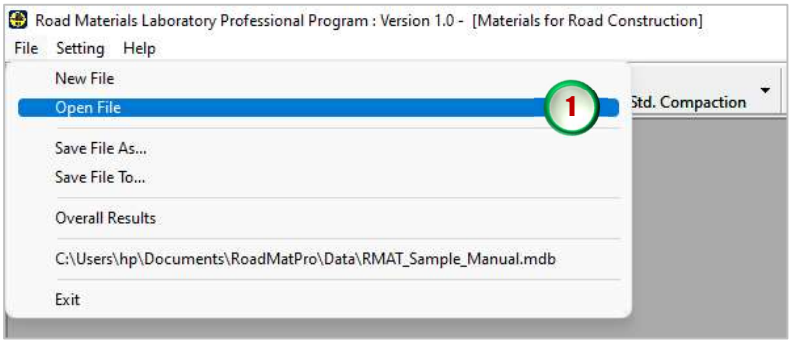




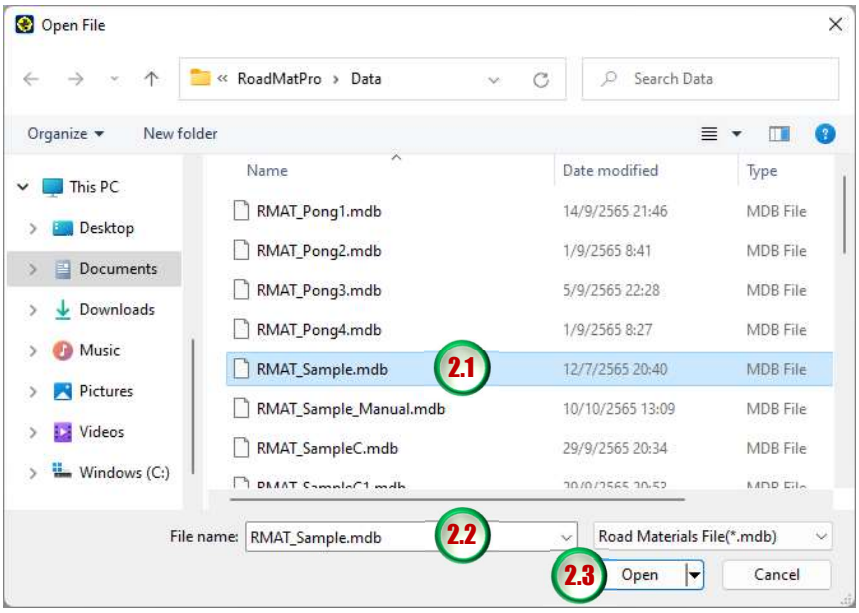
การเปิดไฟล์ที่มีอยู่แล้ว

ผู้ใช้งานสามารถเปิดไฟล์ที่มีอยู่แล้วได้โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. คลิกเลือกเมนู Open File ดังรูปข้างล่าง

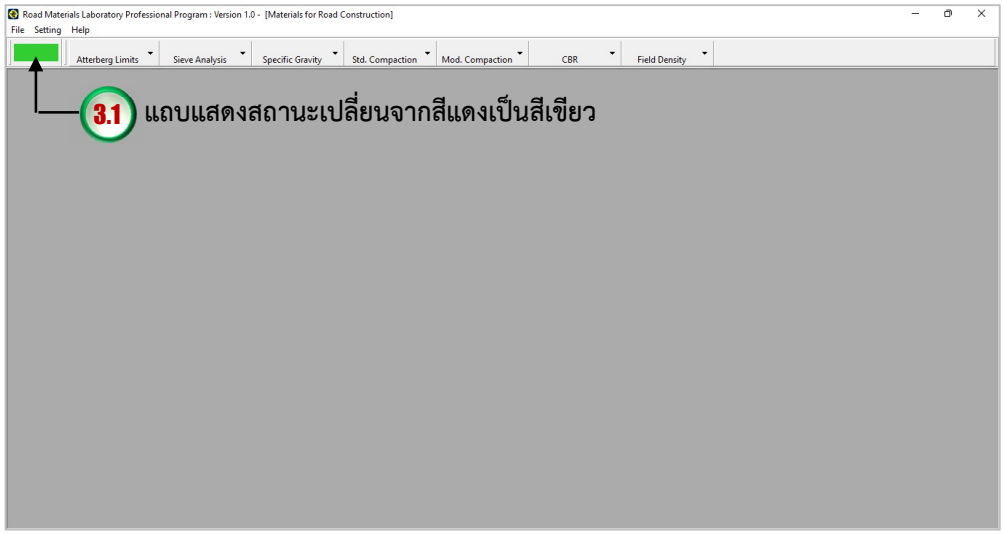


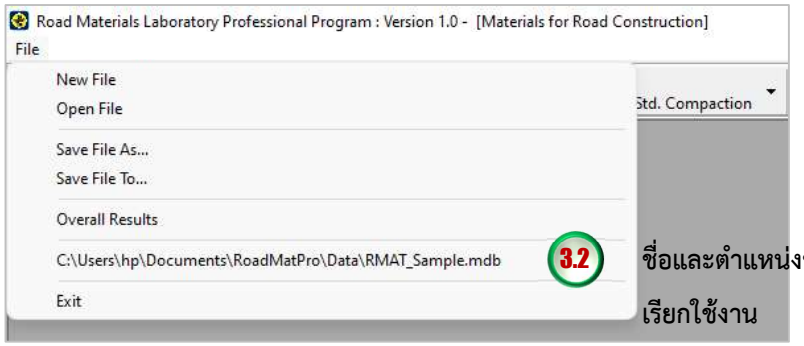
2. เมื่อปรากฏหน้าจอข้างล่าง ให้เลือกไฟล์ที่ต้องการเรียกใช้งาน ดังรูปข้างล่าง



3. เมื่อคลิกปุ่ม Open โปรแกรมจะแสดงหน้าจอหลัก แถบแสดงสถานะความพร้อมใช้งานจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเขียว แสดงว่าไฟล์ข้อมูลถูกเรียกใช้งานแล้ว สามารถดำเนินการวิเคราะห์และ

ประมวลผลการทดสอบได้หรือดำเนินการใช้งานต่อเนื่องจากการใช้งานในครั้งที่ผ่านมา โดยชื่อไฟล์ที่เรียกใช้งานจะไปปรากฏในเมนู File Recent ดังรูปข้างล่าง

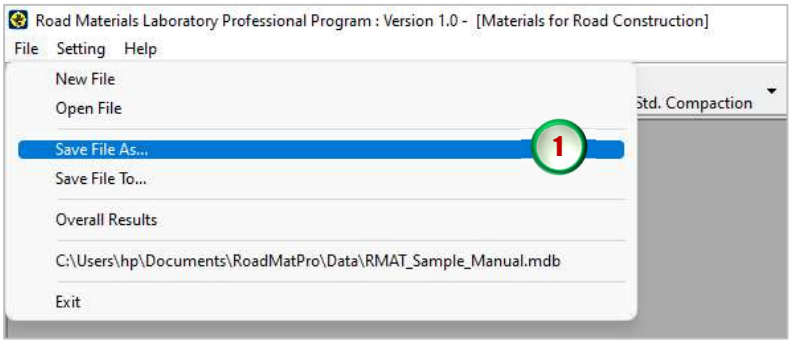




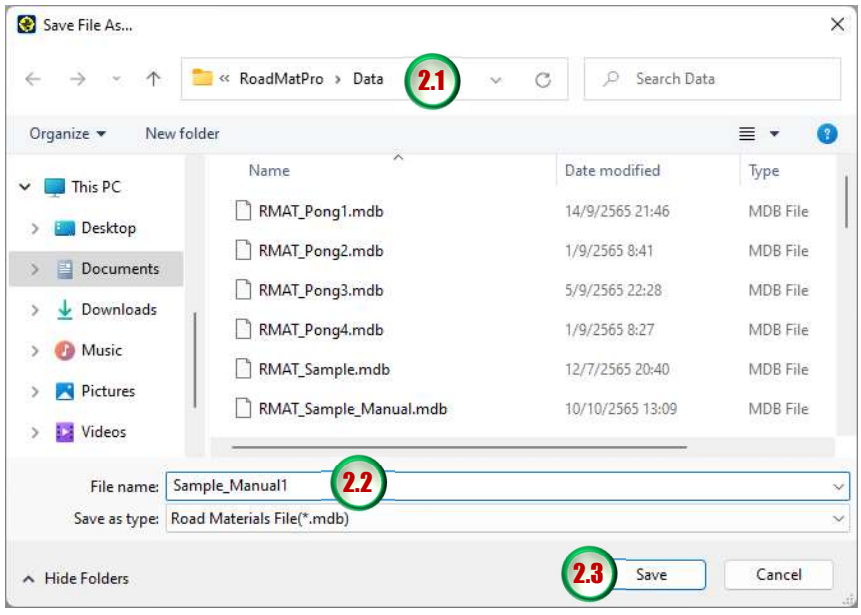
การบันทึกชื่อไฟล์ที่กำลังใช้งานเป็นชื่ออื่น (ใช้งานชื่อใหม่)

ผู้ใช้งานสามารถบันทึกชื่อไฟล์ที่กำลังใช้งานเป็นชื่ออื่นได้ โดยกำหนดให้โปรแกรมเปลี่ยนไปใช้งานไฟล์ที่บันทึกเป็นชื่อใหม่ มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

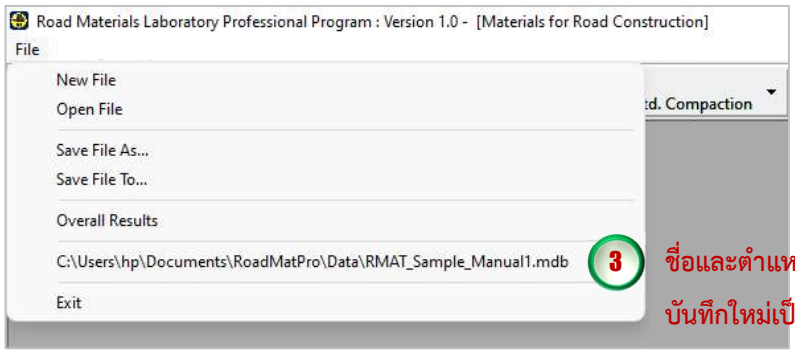
1. คลิกเลือกเมนู Save File As... ดังรูปข้างล่าง



2. เมื่อปรากฏหน้าจอข้างล่าง ให้เลือกตำแหน่งที่ต้องการจัดเก็บไฟล์ และตั้งชื่อไฟล์ใหม่ตามลำดับ ดังรูปข้างล่าง



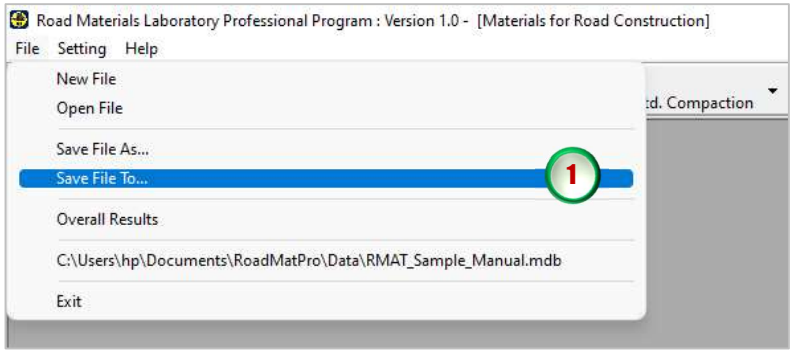
3. เมื่อคลิกปุ่ม Save โปรแกรมจะคัดลอกไฟล์ที่กำลังใช้งานและบันทึกเป็นชื่อไฟล์ใหม่ และเปลี่ยนการใช้งานเป็นไฟล์ชื่อใหม่ โดยชื่อไฟล์ที่บันทึกชื่อใหม่จะไปปรากฏในเมนู File Recent ดังรูปข้างล่าง



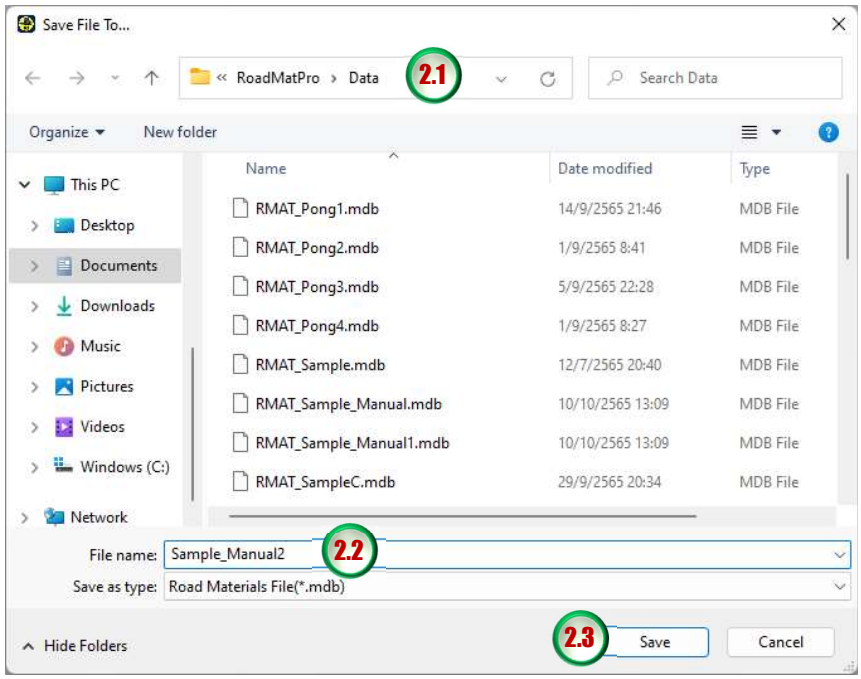
การบันทึกชื่อไฟล์ที่กำลังใช้งานเป็นชื่ออื่น (ใช้งานชื่อเดิม)

ผู้ใช้งานสามารถบันทึกชื่อไฟล์ที่กำลังใช้งานเป็นชื่ออื่นได้ โดยกำหนดให้โปรแกรมยังคงใช้งานไฟล์ชื่อเดิม มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

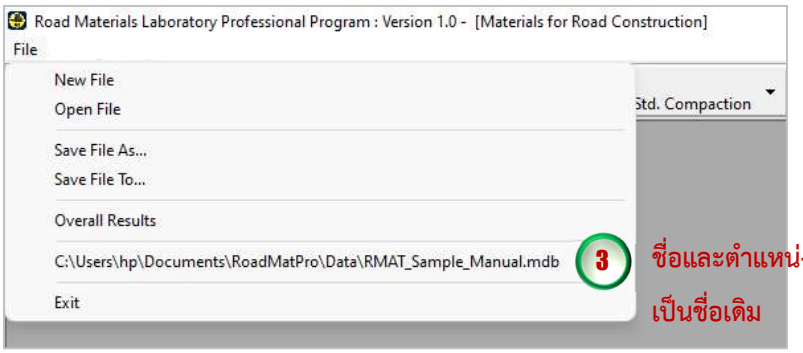
1. คลิกเลือกเมนู Save File To... ดังรูปข้างล่าง



2. เมื่อปรากฏหน้าจอข้างล่าง ให้เลือกตำแหน่งที่ต้องการจัดเก็บไฟล์ และตั้งชื่อไฟล์ใหม่ตามลำดับ ดังรูปข้างล่าง



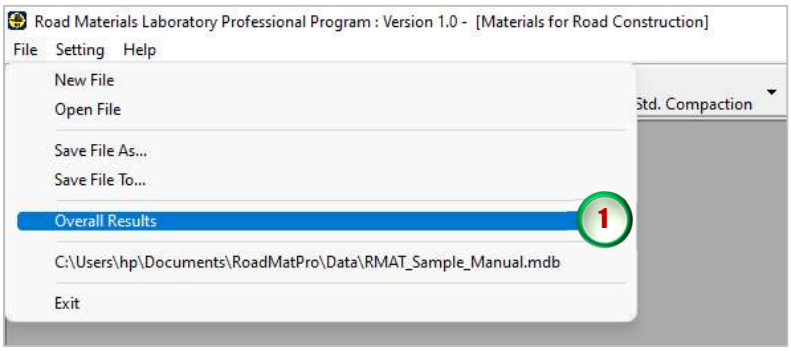
3. เมื่อคลิกปุ่ม Save โปรแกรมจะคัดลอกไฟล์ที่กำลังใช้งานและบันทึกเป็นชื่อไฟล์ใหม่ แต่ยังคงใช้งานเป็นไฟล์ชื่อเดิมอยู่ โดยชื่อไฟล์ที่ปรากฏในเมนู File Recent ก็ยังเป็นชื่อเดิม ดังรูปข้างล่าง



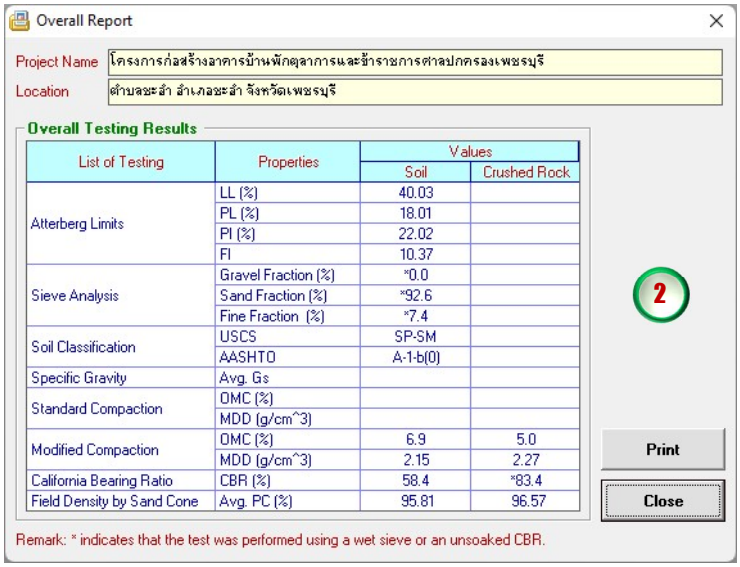
การเรียกดูภาพรวมของผลการทดสอบทั้งหมด

ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูภาพรวมของผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้ทำการทดสอบไปแล้ว มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. คลิกเลือกเมนู Overall Results ดังรูปข้างล่าง



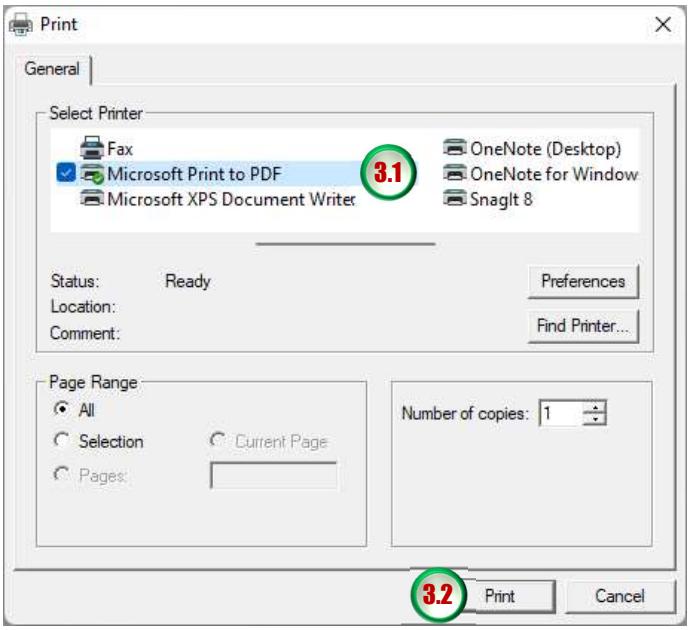
2. จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง กรณีที่ยังไม่ได้ดำเนินการวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบจะไม่มีข้อมูลผลการทดสอบแสดงในตารางที่ตรงกับการทดสอบนั้น แต่หากมีการวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบใดแล้ว ก็จะแสดงผลการทดสอบในตารางที่ตรงกับการทดสอบนั้น



List of Testing	Properties	Values	
		Soil	Crushed Rock
Atterberg Limits	LL (%)	40.03	
	PL (%)	18.01	
	PI (%)	22.02	
	FI	10.37	
Sieve Analysis	Gravel Fraction (%)	*0.0	
	Sand Fraction (%)	*92.6	
	Fine Fraction (%)	*7.4	
Soil Classification	USCS	SP-SM	
	AASHTO	A-1-b(0)	
Specific Gravity	Avg. Gs		
Standard Compaction	OMC (%)		
	MDD (g/cm^3)		
Modified Compaction	OMC (%)	6.9	5.0
	MDD (g/cm^3)	2.15	2.27
California Bearing Ratio	CBR (%)	58.4	*83.4
Field Density by Sand Cone	Avg. PC (%)	95.81	96.57

จากรูปด้านบนแสดงให้เห็นว่าการทดสอบหาคุณสมบัติของดินที่ดำเนินการไปแล้ว ได้แก่ การหาค่าอัตเทอร์เบิร์ก การทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน การทดสอบหาค่าซี.บี.อาร์. และการทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนามด้วยวิธีกรวยทราย สำหรับการทดสอบหาคุณสมบัติของหินคลุกที่ดำเนินไปแล้ว ได้แก่ การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน การทดสอบหาค่าซี.บี.อาร์. และการทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนามด้วยวิธีกรวยทราย โดยข้อมูลคุณสมบัติที่ปรากฏเครื่องหมาย "*" อยู่ข้างหน้าแสดงให้เห็นว่าเป็นการทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานแบบเปียก (Wet Sieve) หรือเป็นการทดสอบหาค่าซี.บี.อาร์. แบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked CBR)

3. หากต้องการพิมพ์ข้อมูลผลการทดสอบโดยรวมของโครงการนี้สามารถคลิกปุ่ม **Print** จะปรากฏหน้าจอให้เลือกเครื่องพิมพ์ดังรูปข้างล่าง เมื่อเลือกเครื่องพิมพ์แล้วก็ให้คลิกปุ่ม Print หากไม่ต้องการพิมพ์ให้คลิกปุ่ม **Close** เพื่อปิดหน้าจอ ซึ่งต้องปิดหน้าจอนี้ก่อนทุกครั้งจึงจะสามารถใช้งานโปรแกรมต่อได้



4. ผลจากการสั่งพิมพ์ดังตัวอย่างต่อไปนี้

โปรแกรมวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบวัสดุงานทาง

Road Materials Laboratory Professional Program

RoadMatPro version 1.0 Copyright @ 2022 create by : Asst.Prof.Dr.Chusak Kererat

Project Name : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี

Location : ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

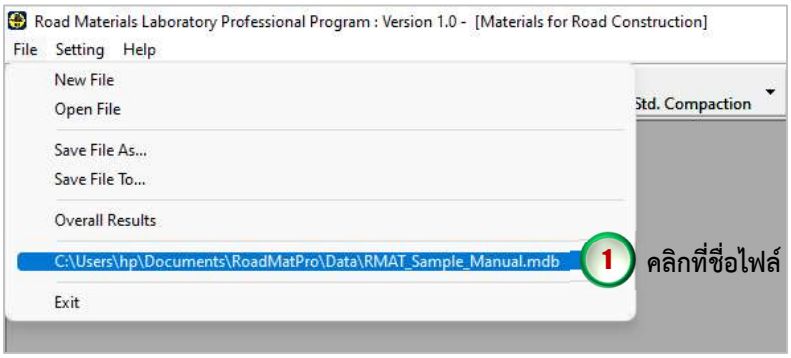
Overall Testing Results

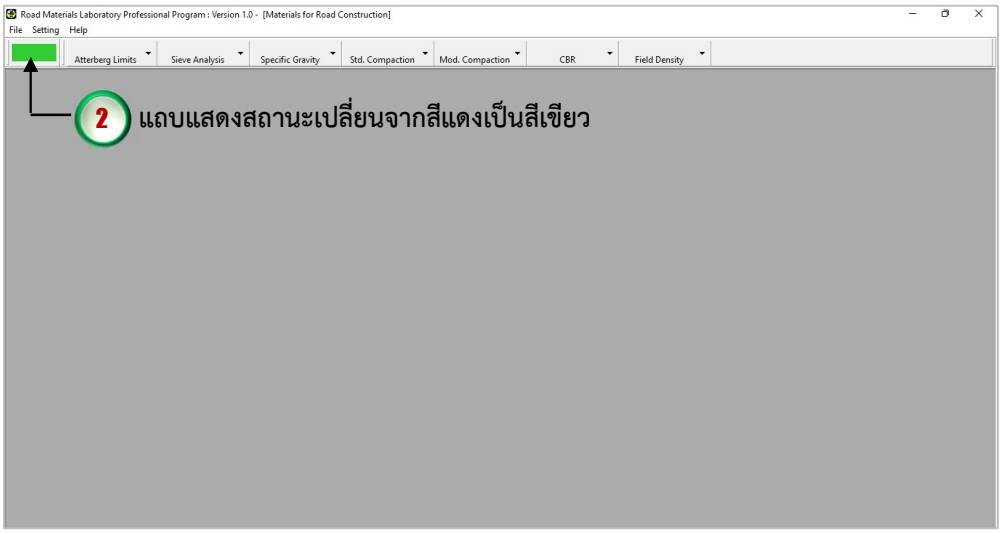
List of Testing	Properties	Values	
		Soil	Crushed Rock
Atterberg Limits	Liquid Limit (LL)	40.03 %	
	Plastic Limit (PL)	18.01 %	
	Plasticity Index (PI)	22.02 %	
	Flow Index (FI)	10.37 %	
Sieve Analysis	Gravel Fraction (GF)	*0.0 %	
	Sand Fraction (SF)	*92.6 %	
	Fine Fraction (Passing #200)	*7.4 %	
Soil Classification	USCS	SP-SM	
	AASHTO	A-1-b(0)	
Specific Gravity	Average Specific Gravity (Gs)		
Standard Compaction	Optimum Moisture Content (OMC)		
	Maximum Dry Density (MDD)		
Modified Compaction	Optimum Moisture Content (OMC)	6.9 %	5.0 %
	Maximum Dry Density (MDD)	2.15 g/cm^3	2.27 g/cm^3
California Bearing Ratio	Percent CBR	58.4 %	*83.4 %
Field Density by Sand Cone	Average Percent Compaction	95.81 %	96.57 %

*Remark: * indicates that the test was performed using a wet sieve or an unsoaked CBR.*

การเปิดไฟล์ล่าสุดที่ใช้งาน

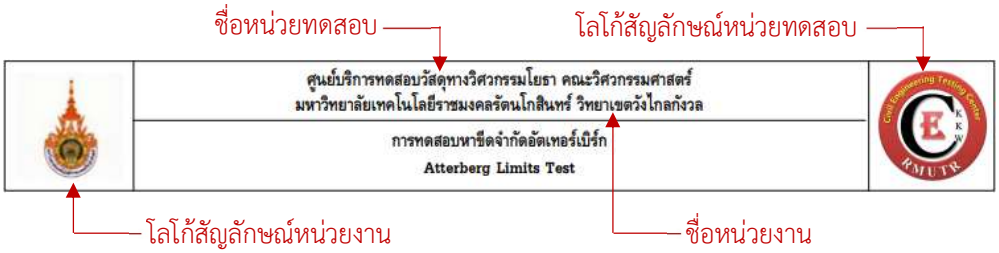
ผู้ใช้งานสามารถเรียกเปิดไฟล์ข้อมูลล่าสุดที่ใช้งานได้ ซึ่งในการสร้างไฟล์ข้อมูลใหม่หรือการเรียกใช้งานไฟล์ข้อมูลที่มีอยู่แล้ว โปรแกรมจะนำตำแหน่งจัดเก็บไฟล์และชื่อไฟล์มาแสดงในเมนู Recent File ทุกครั้งทำให้ผู้ใช้งานจะสามารถรู้ได้ว่าไฟล์ล่าสุดที่ใช้งานคือไฟล์ไหนเป็นข้อมูลของโครงการใด และสามารถเปิดไฟล์ได้ง่าย โดยการคลิกเลือกเมนู Recent File ที่แสดงชื่อไฟล์ ดังรูปข้างล่าง



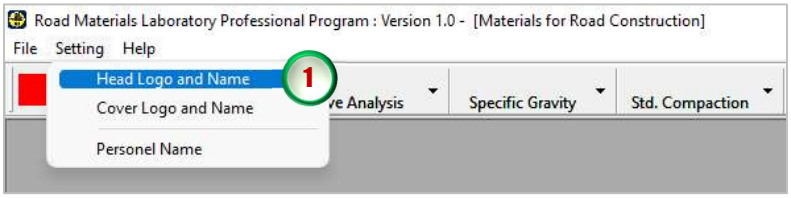


การกำหนดโลโก้สัญลักษณ์และชื่อหน่วยงานส่วนหัวใบรายงานผลการทดสอบ

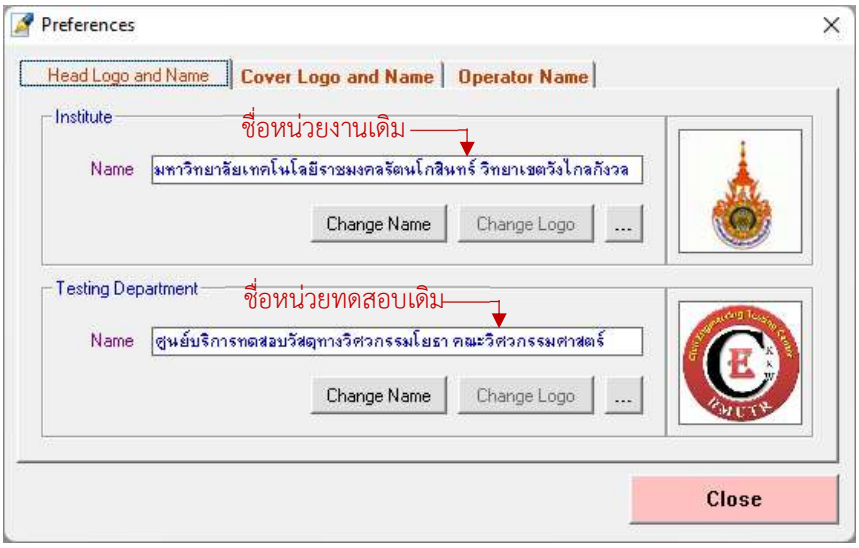
ผู้ใช้งานสามารถกำหนดโลโก้สัญลักษณ์และชื่อหน่วยงานส่วนหัวใบรายงานผลการทดสอบได้ โดยสามารถเปลี่ยนโลโก้สัญลักษณ์และชื่อหน่วยงานให้เป็นของหน่วยงานตนเองได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้



1. คลิกเลือกเมนู Head Logo and Name ดังรูปข้างล่าง

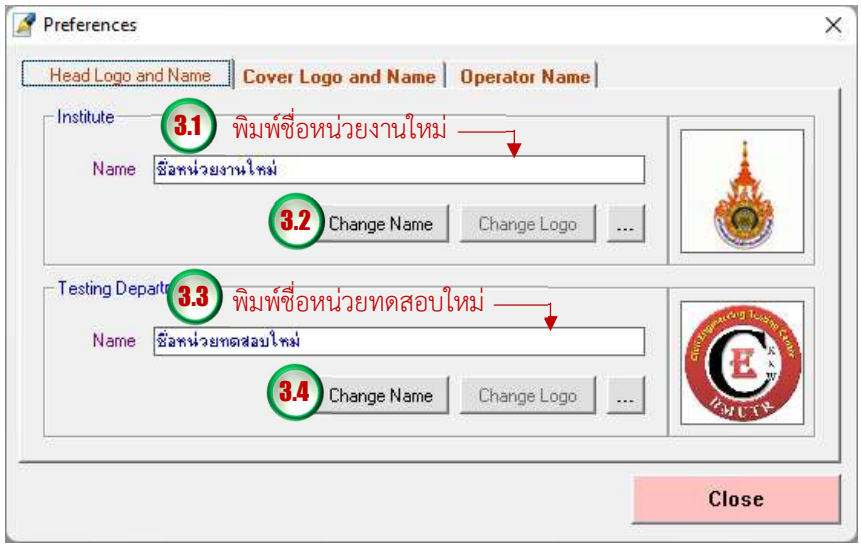


2. จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง มีรายละเอียดการใช้งานของปุ่มดังนี้



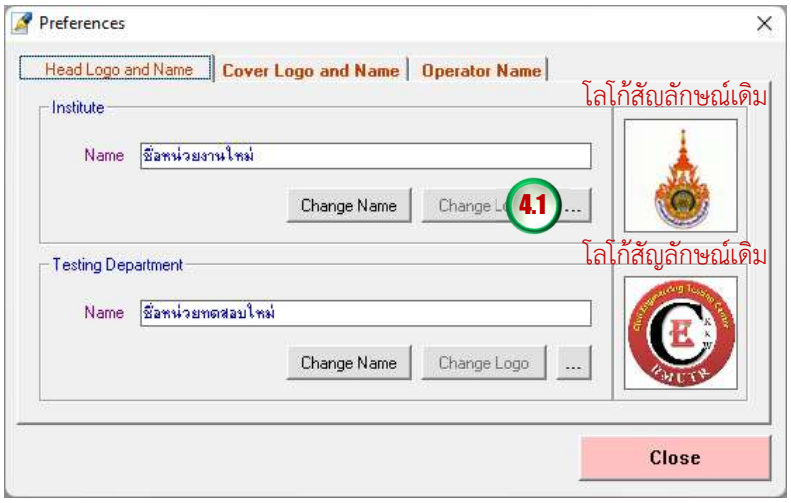
Change Name	ใช้สำหรับเปลี่ยนชื่อหน่วยงานและ/หรือหน่วยทดสอบ
...	ใช้เลือกรูปโลโก้สัญลักษณ์ของหน่วยงานและ/หรือหน่วยทดสอบ
Change Logo	ใช้เลือกเปลี่ยนรูปโลโก้สัญลักษณ์ของหน่วยงานและ/หรือหน่วยทดสอบ

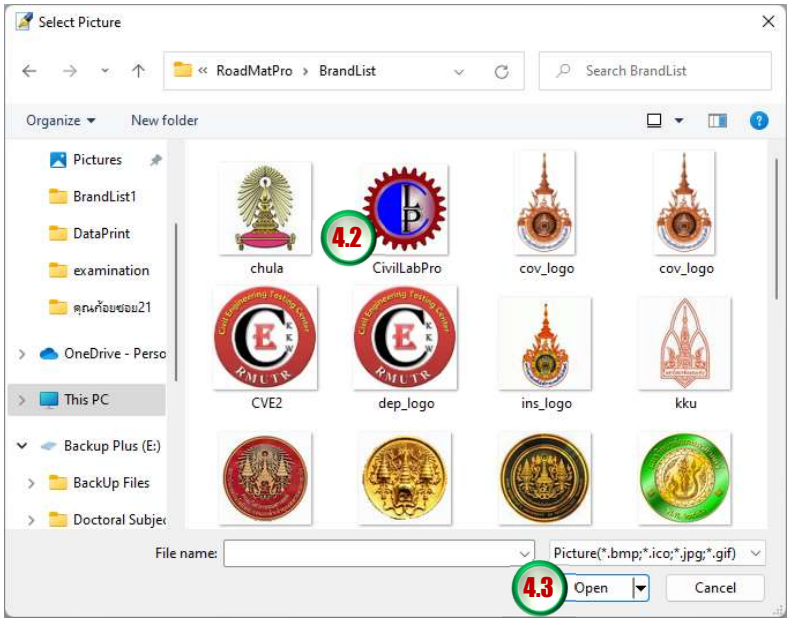
3. หากต้องการเปลี่ยนชื่อหน่วยงานและ/หรือหน่วยทดสอบ ให้คลิกในกล่องข้อความแล้วพิมพ์ข้อความชื่อหน่วยงานและ/หรือหน่วยทดสอบใหม่ แล้วคลิกปุ่ม Change Name ดังรูปข้างล่าง โปรแกรมจะทำการบันทึกชื่อหน่วยงานและ/หรือหน่วยทดสอบใหม่



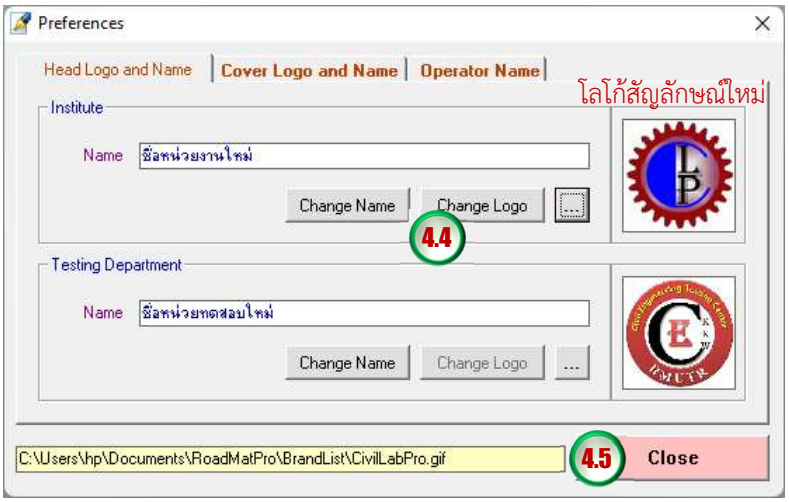
เมื่อปิดหน้าจอโดยคลิกปุ่ม Close แล้วเลือกคลิกเลือกเมนู Head Logo and Name อีกครั้ง จะพบว่าชื่อหน่วยงานและ/หรือหน่วยทดสอบ จะแสดงเป็นชื่อที่กำหนดใหม่ และเมื่อสั่งพิมพ์รายงานผลการทดสอบชื่อหน่วยงานและ/หรือหน่วยทดสอบก็จะเปลี่ยนไปตามที่ได้กำหนดชื่อใหม่ดังรูปข้างล่าง

4. หากต้องการเปลี่ยนรูปโลโก้สัญลักษณ์หน่วยงาน ให้คลิกปุ่ม ... เพื่อเลือกรูปโลโก้สัญลักษณ์ใหม่ โดยจะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง



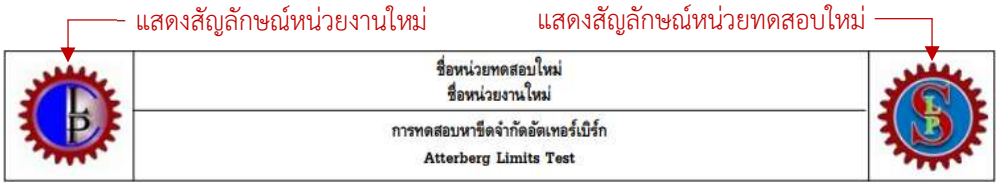


เมื่อเลือกรูปภาพแล้วคลิกปุ่ม Open รูปโลโก้สัญลักษณ์หน่วยงานก็จะเปลี่ยนไป ดังรูปข้างล่าง พร้อมทั้งแสดงข้อความตำแหน่งของไฟล์รูปภาพที่เลือกด้วย



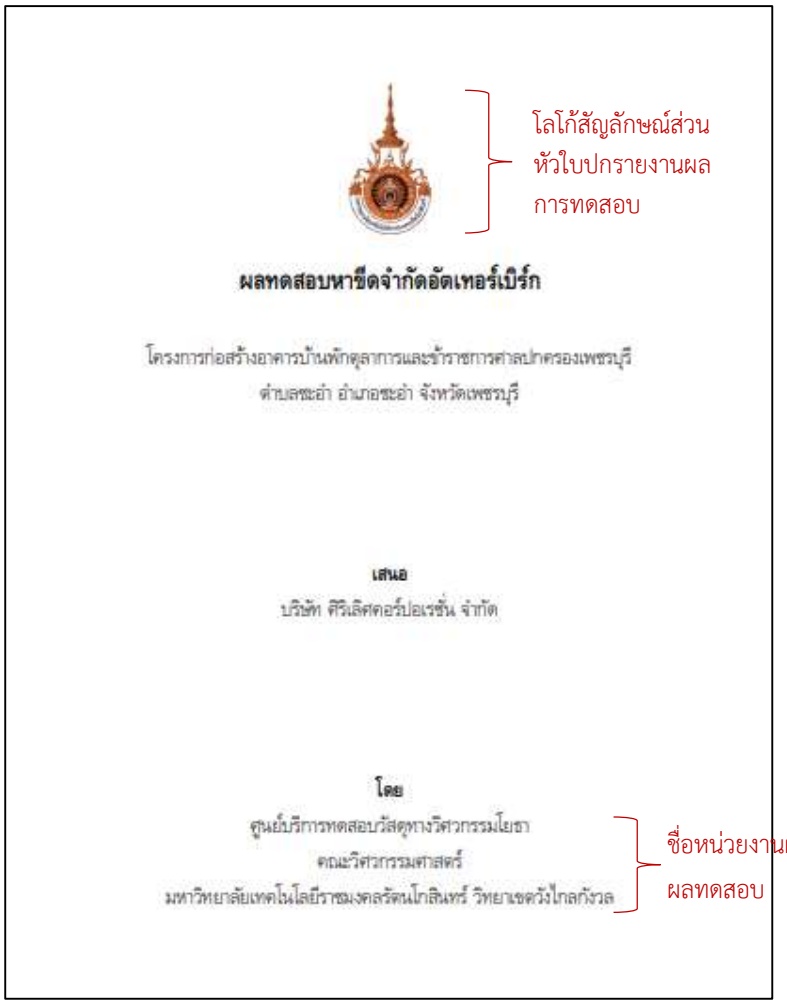
หลังจากนั้นให้คลิกปุ่ม Change Logo ก็จะเป็นการบันทึกรูปโลโก้สัญลักษณ์ใหม่ของหน่วยงานทันที ข้อความตำแหน่งของไฟล์รูปภาพที่เลือกก็จะหายไป เมื่อปิดหน้าจอโดยคลิกปุ่ม Close แล้ว เลือกคลิกเลือกเมนู Head Logo and Name อีกครั้งจะพบว่ารูปโลโก้สัญลักษณ์ของหน่วยงาน จะแสดงเป็นรูปโลโก้สัญลักษณ์ใหม่ และเมื่อสั่งพิมพ์รายงานผลการทดสอบรูปโลโก้สัญลักษณ์ของหน่วยงานก็จะเปลี่ยนไปตามที่ได้กำหนดใหม่ดังรูปข้างล่าง

5. หากต้องการเปลี่ยนรูปโลโก้สัญลักษณ์หน่วยทดสอบให้ดำเนินการตามขั้นตอนเหมือนข้อ 4 ซึ่งเมื่อดำเนินการเรียบร้อยแล้ว และเมื่อสั่งพิมพ์รายงานผลการทดสอบรูปโลโก้สัญลักษณ์ของหน่วยทดสอบก็จะเปลี่ยนไปตามที่ได้กำหนดใหม่ดังรูปข้างล่าง

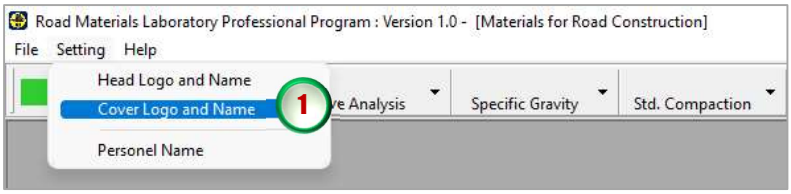


การกำหนดโลโก้สัญลักษณ์ส่วนหัวใบปกรายงานผลการทดสอบและชื่อหน่วยงานผู้ออกผลการทดสอบ

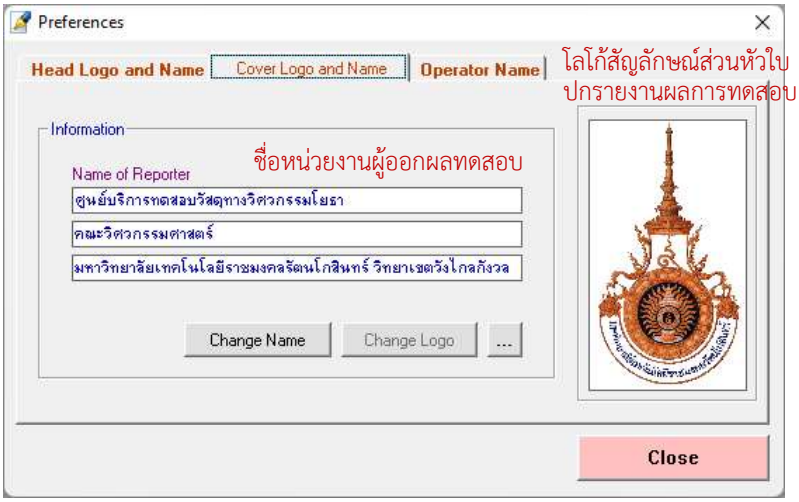
ผู้ใช้งานสามารถกำหนดโลโก้สัญลักษณ์ส่วนหัวใบปกรายงานผลการทดสอบและชื่อหน่วยงานผู้ออกผลทดสอบได้ โดยสามารถเปลี่ยนโลโก้สัญลักษณ์และชื่อหน่วยงานให้เป็นของหน่วยงานตนเองได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้



1. คลิกเลือกเมนู Cover Logo and Name ดังรูปข้างล่าง



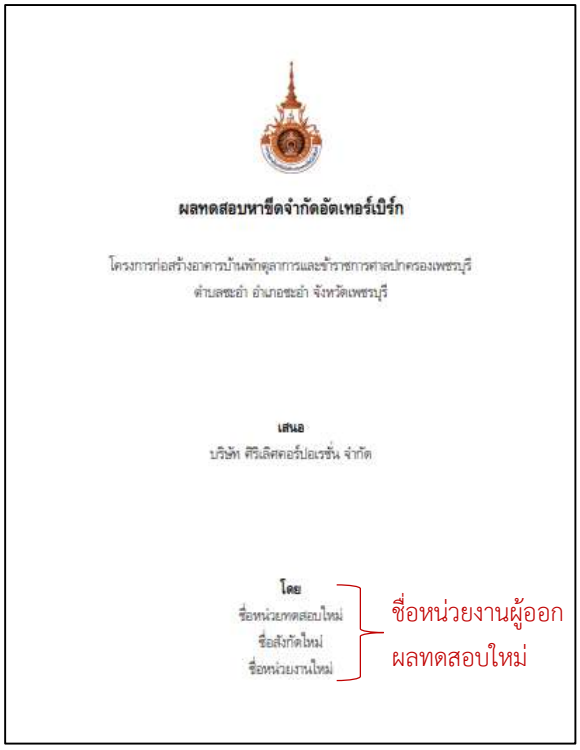
2. จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง มีรายละเอียดการใช้งานของปุ่มดังนี้



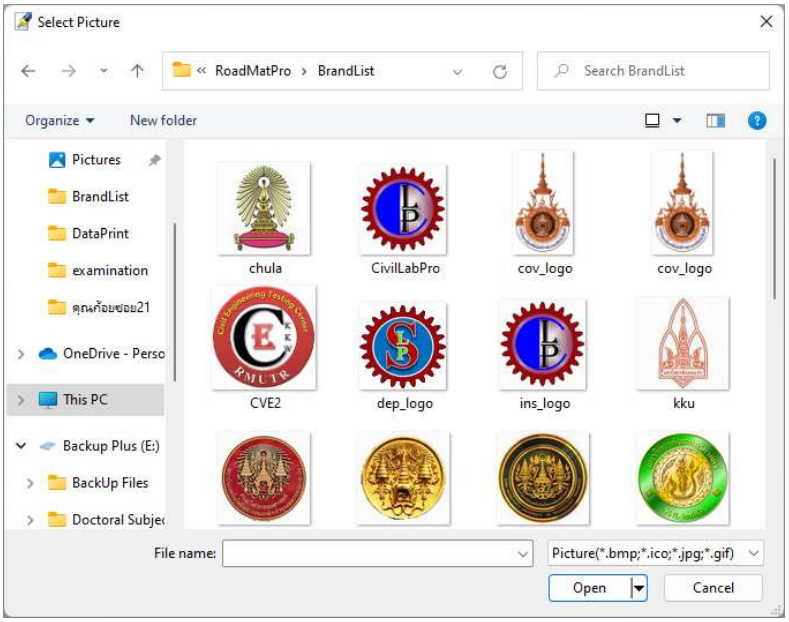
Change Name	ใช้สำหรับเปลี่ยนชื่อหน่วยงานผู้ออกผลทดสอบ
...	ใช้เลือกรูปโลโก้สัญลักษณ์ของหน่วยงานส่วนหัวใบปกรายงาน
Change Logo	ใช้เลือกเปลี่ยนรูปโลโก้สัญลักษณ์ของหน่วยงานส่วนหัวใบปกรายงาน

3. หากต้องการเปลี่ยนชื่อหน่วยงานผู้ออกผลทดสอบ ให้คลิกในกล่องข้อความแล้วพิมพ์ข้อความชื่อหน่วยงานผู้ออกผลทดสอบใหม่ ซึ่งจะมี 3 บรรทัด แล้วคลิกปุ่ม Change Name ดังรูปข้างล่าง โปรแกรมจะทำการบันทึกชื่อหน่วยงานผู้ออกผลทดสอบใหม่

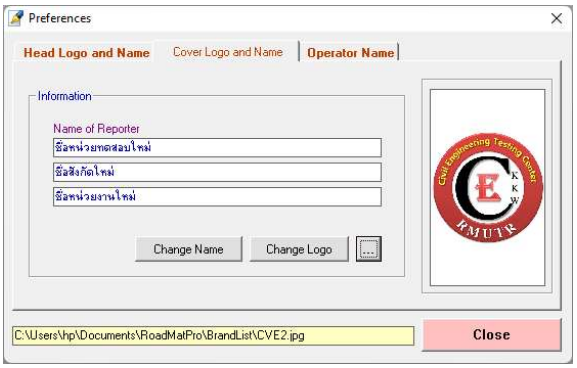
เมื่อปิดหน้าจอโดยคลิกปุ่ม **Close** แล้วคลิกเลือกเมนู Cover Logo and Name อีกครั้งจะพบว่าชื่อหน่วยงานผู้ออกผลทดสอบ จะแสดงเป็นชื่อที่กำหนดใหม่ และเมื่อสั่งพิมพ์รายงานผลการทดสอบชื่อหน่วยงานผู้ออกผลทดสอบก็จะเปลี่ยนไปตามที่ได้กำหนดชื่อใหม่ดังรูปข้างล่าง



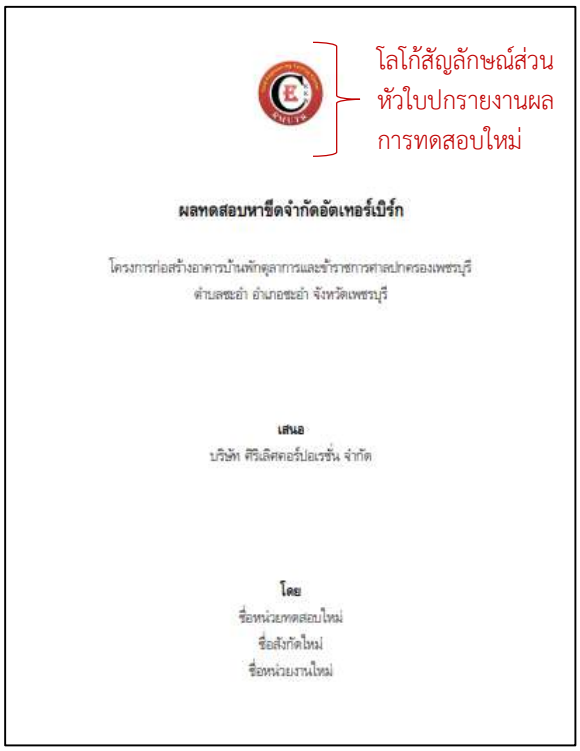
4. หากต้องการเปลี่ยนรูปโลโก้สัญลักษณ์หน่วยงานในส่วนหัวใบปกรายงานผลการทดสอบ ให้คลิกปุ่ม ... เพื่อเลือกรูปโลโก้สัญลักษณ์ใหม่ โดยจะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง



เมื่อเลือกรูปภาพแล้วคลิกปุ่ม Open รูปโลโก้สัญลักษณ์หน่วยงานผู้ออกผลทดสอบก็จะเปลี่ยนไปดังรูปข้างล่าง พร้อมทั้งแสดงข้อความตำแหน่งของไฟล์รูปภาพที่เลือกด้วย



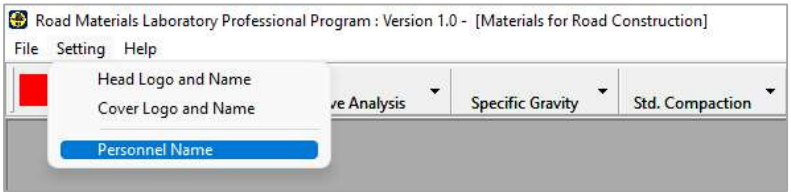
หลังจากนั้นให้คลิกปุ่ม Change Logo ก็จะเป็นการบันทึกรูปโลโก้สัญลักษณ์ใหม่ของหน่วยงานทันที ข้อความตำแหน่งของไฟล์รูปภาพที่เลือกก็จะหายไป เมื่อปิดหน้าจอโดยคลิกปุ่ม Close แล้ว เลือกคลิกเลือกเมนู Cover Logo and Name อีกครั้งจะพบว่ารูปโลโก้สัญลักษณ์ของหน่วยงาน จะแสดงเป็นรูปโลโก้สัญลักษณ์ใหม่ และเมื่อสั่งพิมพ์รายงานผลการทดสอบรูปโลโก้สัญลักษณ์ของหน่วยงานก็จะเปลี่ยนไปตามที่ได้กำหนดใหม่ดังรูปข้างล่าง



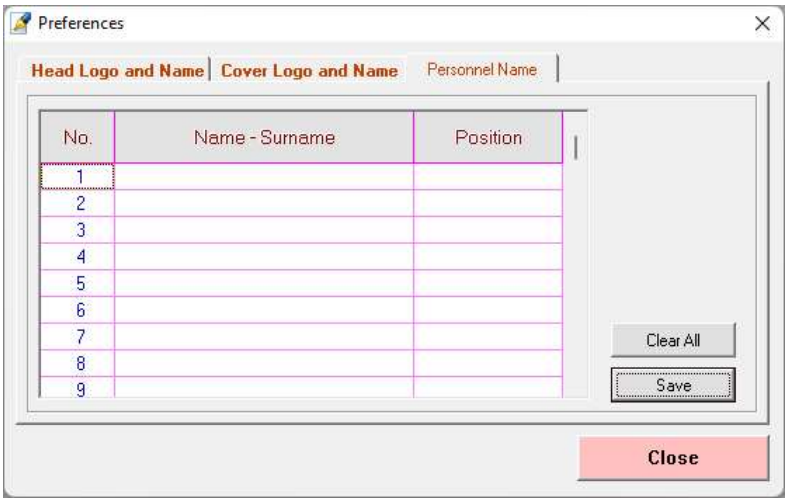
การกำหนดรายชื่อบุคลากรผู้ปฏิบัติงาน

ผู้ใช้งานสามารถกำหนดชื่อบุคลากรผู้ปฏิบัติงานได้ทั้งหมด 15 รายชื่อ โดยประกอบด้วย ผู้ทดสอบ (Tester) ผู้ตรวจสอบ (Checker) และผู้อนุมัติ (Approver) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. คลิกเลือกเมนู Personnel Name ดังรูปข้างล่าง



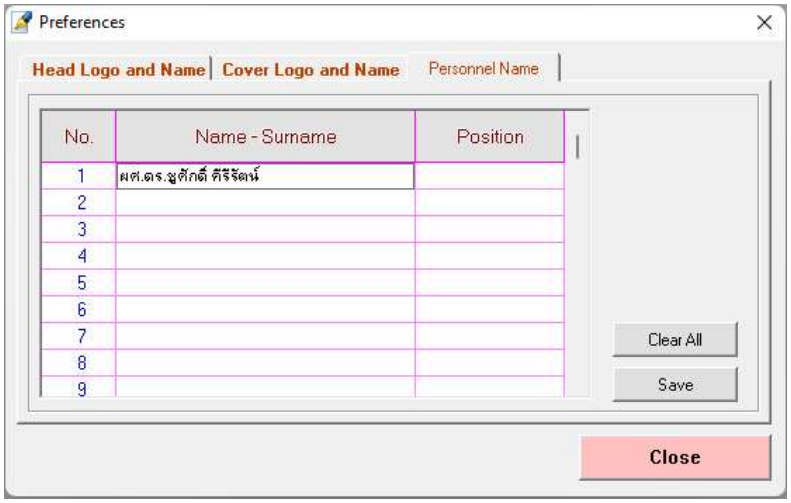
2. จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง ซึ่งสามารถป้อนชื่อและตำแหน่งของบุคลากรได้ทั้งหมด 15 รายชื่อ มีรายละเอียดการใช้งานของปุ่มดังนี้

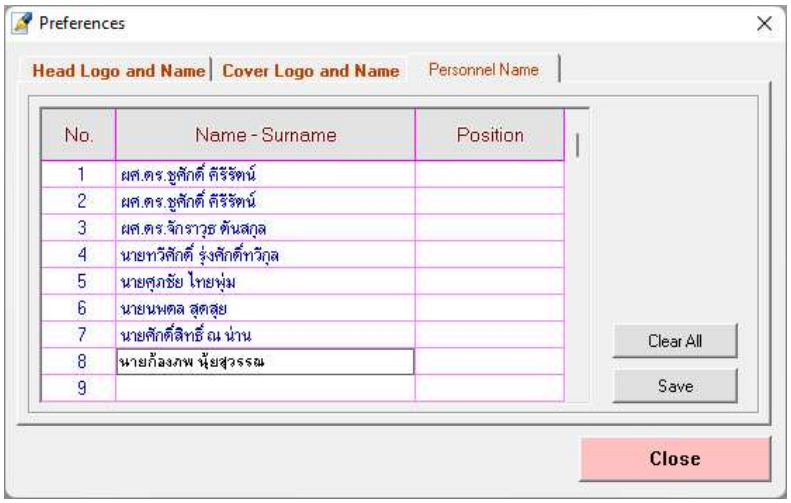


Clear All ใช้สำหรับลบข้อมูลบุคลากรในตารางทั้งหมด

Save ใช้บันทึกข้อมูลบุคลากร

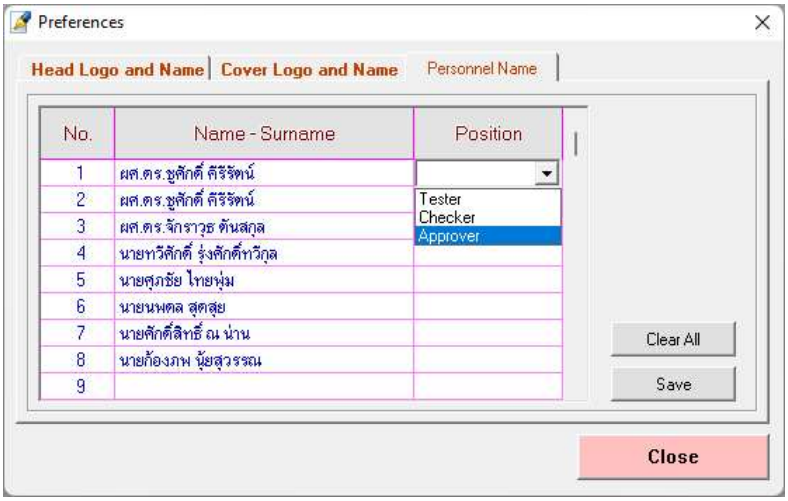
3. ให้คลิกในกล่องข้อความในคอลัมน์ Name-Surname แล้วพิมพ์รายชื่อแล้วกดปุ่ม Enter แล้วพิมพ์รายชื่อต่อไปจนกว่าจะครบจำนวนบุคลากร ดังรูปข้างล่าง

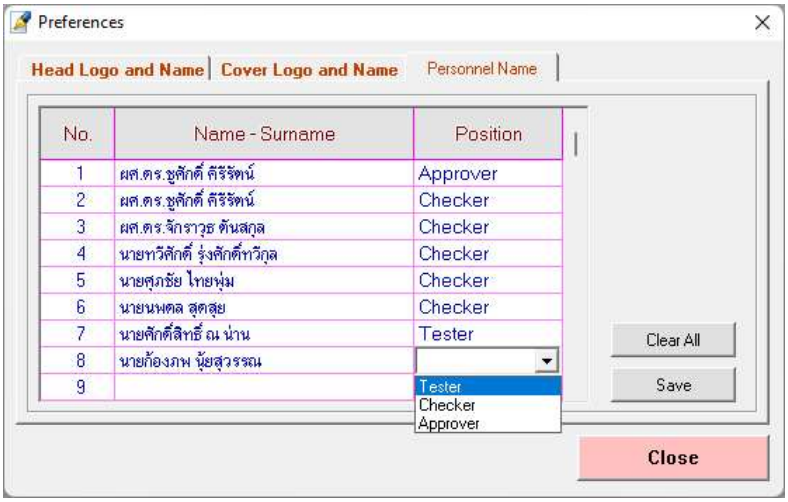




4. ให้คลิกในกล่องข้อความในคอลัมน์ Position จะปรากฏกล่องตัวเลือก ซึ่งจะประกอบไปด้วยตัวเลือก 3 หน้าที่ ได้แก่ ผู้ทดสอบ (Tester) ผู้ตรวจสอบ (Checker) และผู้อนุมัติ (Approver) แล้ว

คลิกเลือกหน้าที่ให้กับรายชื่อบุคลากรที่ป้อนไว้แล้วกดปุ่ม Enter ดำเนินการจนกว่าจะครบจำนวนบุคลากร ดังรูปข้างล่าง



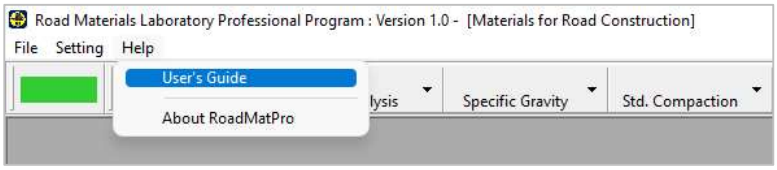


5. เมื่อป้อนรายชื่อบุคลากรและกำหนดหน้าที่ของบุคลากรแล้ว ให้คลิกปุ่ม Save เพื่อเป็นการบันทึกข้อมูลบุคลากร ซึ่งจะนำไปใช้ในการป้อนข้อมูลในการใช้โปรแกรมย่อยและการพิมพ์รายงานผลการทดสอบ แล้วจึงคลิกปุ่ม Close เมื่อเลือกเมนู Personnel Name อีกครั้งก็จะแสดงข้อมูลบุคลากร โดยสามารถเพิ่มและแก้ไขข้อมูลบุคลากรได้

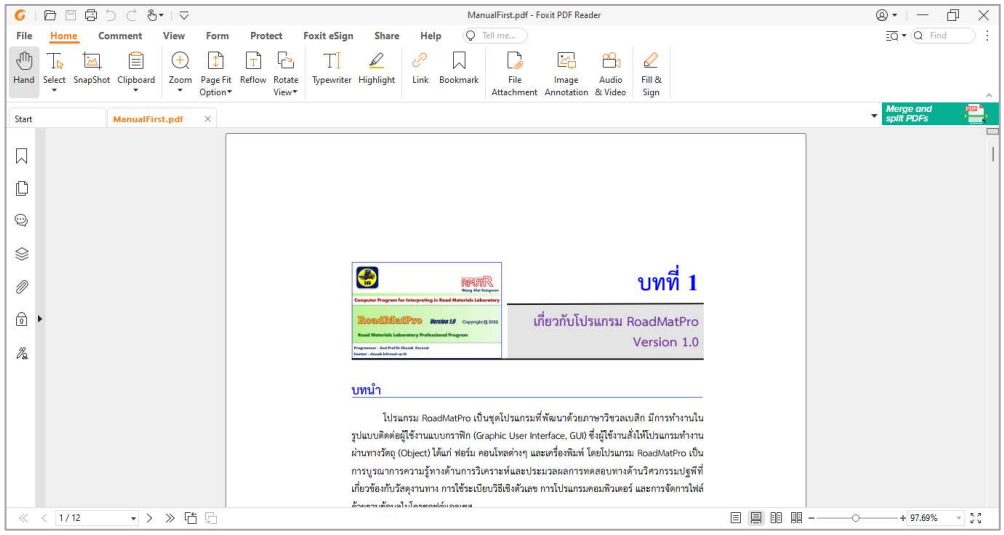
การเรียกดูคู่มือการใช้โปรแกรม

ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูคู่มือการใช้โปรแกรมได้ โดยในเครื่องคอมพิวเตอร์ต้องมีโปรแกรมสำหรับอ่านไฟล์ PDF เช่น Acrobat Foxit เป็นต้น ดังนี้

1. คลิกเลือกเมนู User's Guide ดังรูปข้างล่าง



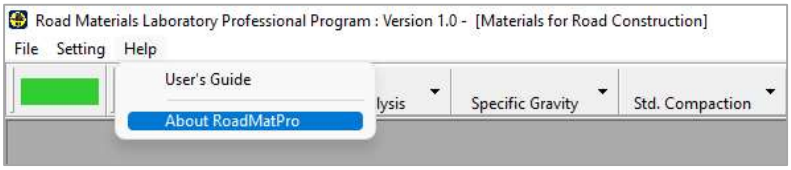
2. โปรแกรมจะแสดงคู่มือการใช้งานโปรแกรมเป็นไฟล์ PDF ดังรูปข้างล่าง



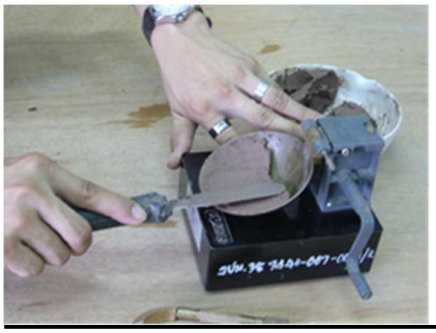
การเรียกดูข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม

ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรมได้ ดังนี้

1. คลิกเลือกเมนู About RoadMatPro ดังรูปข้างล่าง



2. โปรแกรมจะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม ดังรูปข้างล่าง

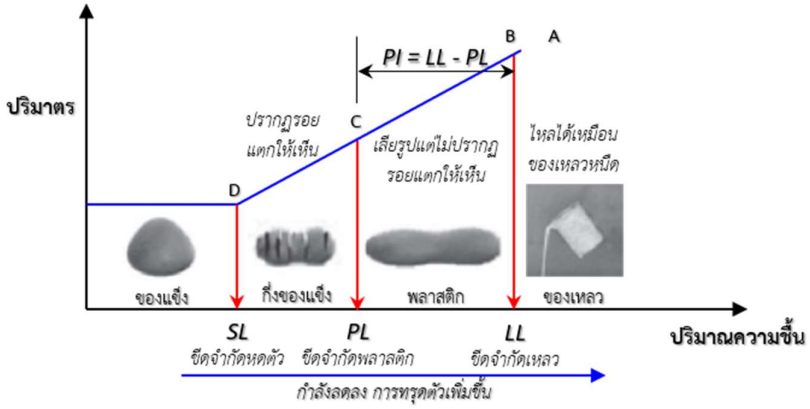


บทที่ 3

การหาขีดจำกัดอัตเทอร์เบิร์ก
Atterberg Limits Test

บทนำ

ขีดจำกัดอัตเทอร์เบิร์ก (Atterberg Limits) หรือ ขีดจำกัดความข้นเหลว (Consistency Limits) หมายถึงปริมาณความชื้นในมวลดินที่ทำให้สถานภาพของมวลดินเปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สถานภาพของดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความชื้นและปริมาตร (Budhu, 2015)

ซึ่งอธิบายได้ว่าดินที่มีสถานภาพเหมือนของเหลวหนืด (Viscous Liquid) ที่สามารถไหลตัวได้ (จุด A) เมื่อถูกทำให้แห้งปริมาณความชื้นจะลดลงและปริมาตรของดินก็ลดลงด้วย โดยเมื่อปริมาณความชื้นของดินลดลงถึงจุด B ดินจะเปลี่ยนสถานภาพเป็นพลาสติก (Plastic) จนไม่สามารถไหลเหมือนของเหลวได้อีก ซึ่งปริมาณความชื้นที่จุด B เรียกว่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, LL) ในขณะปริมาณความชื้นและปริมาตรของดินลดลงอย่างต่อเนื่องดินจะสามารถปั้นขึ้นรูปได้โดยไม่ปรากฏรอยแตกให้เห็น ซึ่งกล่าวได้

ว่าดินในสถานภาพนี้แสดงพฤติกรรมพลาสติกสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่แตก จนเมื่อปริมาณความชื้นและปริมาตรของดินลดลงจนถึงจุด C ดินจะเปลี่ยนสถานภาพเป็นกึ่งของแข็ง (Semi-Solid) โดยปริมาณความชื้นที่จุด C เรียกว่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL) ซึ่งเมื่อดินถูกปั้นขึ้นรูปจะปรากฏรอยแตกให้เห็น สำหรับช่วงของปริมาณความชื้นที่ดินยังอยู่ในสถานภาพความเป็นพลาสติกจะถูกเรียกว่า ดัชนีความเป็นพลาสติกหรือดัชนีความเหนียว (Plasticity Index, PI) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$PI = LL - PL \tag{1}$$

เมื่อปริมาณความชื้นและปริมาตรของดินลดลงจนถึงจุด D ดินจะเปลี่ยนสถานภาพจากกึ่งของแข็งเป็นของแข็ง (Solid) โดยปริมาณความชื้นที่จุด D เรียกว่าขีดจำกัดหดตัว (Shrinkage Limit, SL) โดยในสถานภาพของแข็งแสดงให้เห็นว่าปริมาตรของดินจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาณน้ำในดินถูกขับออกไปจนเกือบหมดแล้ว ถึงแม้ว่าปริมาณความชื้นของดินจะลดลงอีกก็ไม่ทำให้ปริมาตรของดินลดลงแล้ว ขีดจำกัดการหดตัวมีประโยชน์สำหรับการหาค่าความสามารถในการบวมและหดตัวของดิน สำหรับค่าทั่วไปของขีดจำกัดความข้นเหลวของดินชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ค่าความชันของเส้นกราฟที่ได้จากการหาค่าขีดจำกัดเหลวยังสามารถบ่งบอกถึงความไวตัวของดินได้ด้วย ซึ่งค่าความชันที่กล่าวถึงจะเรียกว่า ดัชนีการไหล (Flow Index, FI) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) โดยหากเส้นกราฟมีความชันมากแสดงว่าดินมีความไวตัวมากสามารถเปลี่ยนแปลงความชื้นได้มาก

ตารางที่ 1 ค่าทั่วไปของขีดจำกัดความข้นเหลวของดินชนิดต่าง ๆ (Budhu, 2015)

ขีดจำกัดความข้นเหลว (ร้อยละ)	ทราย	ดินตะกอน	ดินเหนียว
ขีดจำกัดเหลว	-	30 – 40	40 – 150
ขีดจำกัดพลาสติก	ไม่มีความเหนียว (NP)	20 – 25	25 – 50
ดัชนีพลาสติก	-	10 – 15	15 – 100

$$FI = \frac{w_1 - w_2}{\log\left(\frac{N_2}{N_1}\right)} \tag{2}$$

เมื่อ w_1 = ปริมาณความชื้นของดิน ค่าที่ 1 (ค่ามาก)

w_2 = ปริมาณความชื้นของดิน ค่าที่ 2 (ค่าน้อย)

N_1 = จำนวนครั้งของการเคาะ ค่าที่ 1 (ค่าน้อย)

N_2 = จำนวนครั้งของการเคาะ ค่าที่ 2 (ค่ามาก)

ถ้าหากทราบค่าปริมาณความชื้นตามธรรมชาติของดิน (Natural Water Content, w_n) สามารถคำนวณค่าความแข็งแรงของดินได้โดยใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบหาค่าขีดจำกัดความข้นเหลว ซึ่งจะเรียกค่านี้ว่า ดัชนีความเหลว (Liquidity Index, LI) ดังแสดงในตารางที่ 2 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$LI = \frac{w_n - PL}{LL - PL} \qquad (3)$$

ตารางที่ 2 สถานภาพและกำลังของดินจำแนกตามค่าดัชนีความเหลว (Budhu, 2015)

ดัชนีความเหลว (LI)	สถานภาพและกำลังของดิน
LI < 0	สภาพกึ่งของแข็ง มีกำลังสูง แต่เปราะ
0 < LI < 1	สภาพพลาสติก มีกำลังปานกลาง การเสียรูปเหมือนวัสดุเหนียว
LI > 1	สภาพเหลว มีกำลังต่ำ การเสียรูปเหมือนของเหลวหนืด

การทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมนี้จะใช้สำหรับประมวลผลการทดสอบหาขีดจำกัดอัตเทอร์เบิร์กหรือขีดจำกัดความข้นเหลว ได้แก่ ขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติก โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 2

รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม อธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. การป้อนข้อมูลเบื้องต้น เป็นการป้อนข้อมูลทางแป้นพิมพ์ ได้แก่ ชื่อบริษัทหรือผู้ว่าจ้าง หมายเลขรับงาน ชื่อโครงการ สถานที่ตั้งโครงการ ชนิดตัวอย่าง วันที่ทดสอบ ชื่อผู้ทดสอบ และชื่อผู้ตรวจสอบ
2. ป้อนข้อมูลจากการทดสอบขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติกดังนี้

2.1 การทดสอบขีดจำกัดเหลว เป็นการป้อนข้อมูลจำนวนครั้งการเคาะ มวลของกระป๋องรวมดินเปียก มวลของกระป๋องรวมดินแห้ง และมวลของกระป๋อง

2.2 การทดสอบขีดจำกัดพลาสติก เป็นการป้อนข้อมูลมวลของกระป๋องรวมดินเปียก มวลของกระป๋องรวมดินแห้ง และมวลของกระป๋อง

3. คำนวณปริมาณความชื้น เป็นการหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างดินที่เก็บในระหว่างการทดสอบขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติก โดยปริมาณความชื้นของตัวอย่างดินที่ได้จากการทดสอบขีดจำกัดเหลวจะถูกนำไปใช้ในการหาค่าขีดจำกัดเหลวต่อไป ในขณะที่ปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดสอบขีดจำกัดพลาสติกก็คือค่าขีดจำกัดพลาสติก (PL) ของดิน
4. เขียนกราฟเส้นตรงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่เคาะและปริมาณความชื้น เป็นการเขียนเส้นกราฟเพื่อหาค่าขีดจำกัดเหลว ซึ่งโปรแกรมจะเขียนกราฟเส้นตรงในสเกล Semi-Log โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเรื่อง สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) มีรายละเอียดดังนี้

4.1 พล็อตจุดบนกราฟสเกล Semi-Log แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่เคาะและปริมาณความชื้น โดยแกน y ใช้สเกลปกติ ส่วนแกน x ใช้สเกลลอการิทึม

4.2 กำหนดให้ x แทนจำนวนครั้งที่เคาะ และ y แทนปริมาณความชื้น ซึ่งหมายถึงแกน x เป็นแกนของจำนวนครั้งที่เคาะ ส่วนแกน y เป็นแกนของปริมาณความชื้น

4.3 คำนวณค่า x ให้อยู่ในรูป ln(x) ซึ่งปกติแล้วกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่เคาะและปริมาณความชื้น โดยหากเขียนในกราฟสเกลปกติกราฟที่ได้จะเป็นเส้นโค้งทำให้ไม่สามารถหาค่า

ความชันของเส้นกราฟได้ ดังนั้นจึงต้องปรับสเกลของแกน x ให้เป็นสเกลลอการิทึม เพื่อให้กราฟที่เขียนเป็นเส้นตรง

4.4 คำนวณหาผลรวมของ x, y, xy, x^2, y^2 เป็นการเตรียมค่าของตัวแปรสำหรับนำไปหาค่าคงที่ a_0 และ a_1 ในสมการเส้นตรง $y = a_0+a_1\ln(x)$

4.5 คำนวณค่าเฉลี่ยของ x และ y โดยในที่นี้ x จะเท่ากับ ln(x) เป็นการหาค่า $\overline{x}$ และ $\overline{y}$ ของชุดข้อมูล x และ y

4.6 คำนวณค่าคงที่ a_0 และ a_1 เป็นการใช้ข้อมูลจากข้อ 4.4 และ 4.5 มาแทนค่าในสมการด้านล่างซึ่งได้จากการแก้เมทริกซ์ขนาด 2x2 ก็จะได้สมการเส้นตรงในรูปสมการ $y = a_0+a_1\ln(x)$

$$a_1 = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

$$a_0 = \overline{y} - a_1\overline{x}$$

5. คำนวณค่าจากกราฟ ดังนี้

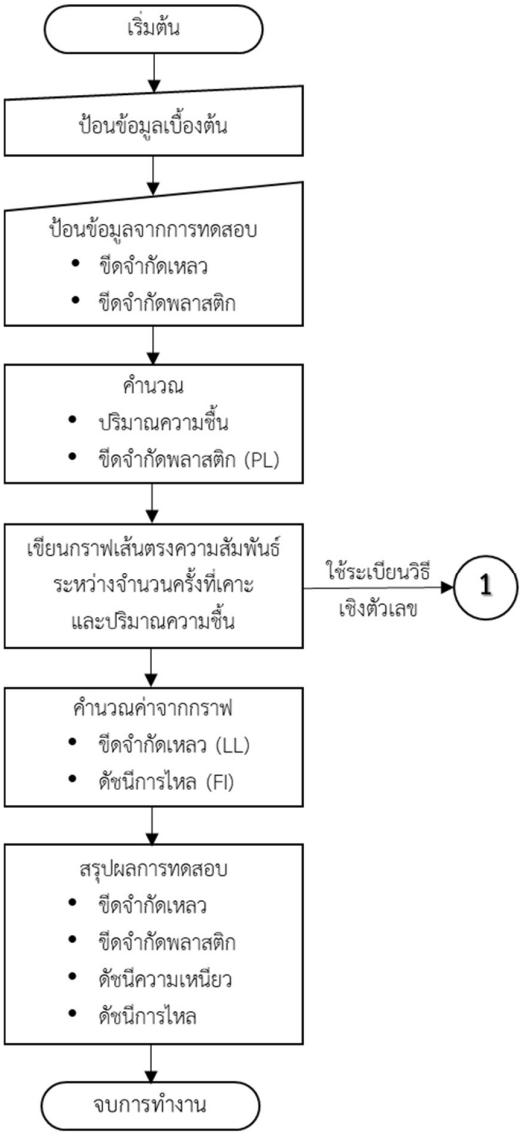
5.1 คำนวณค่าขีดจำกัดเหลว (LL) โดยการแทนค่า x เท่ากับ 25 ในสมการที่หาได้จากข้อ 4 ค่า y ที่คำนวณได้ก็คือค่าขีดจำกัดเหลว

5.2 คำนวณค่าดัชนีการไหล (FI) เป็นการหาค่าความชันของกราฟเส้นตรงที่ใช้หาค่าขีดจำกัดเหลว ซึ่งสามารถหาได้จากสมการข้างล่าง

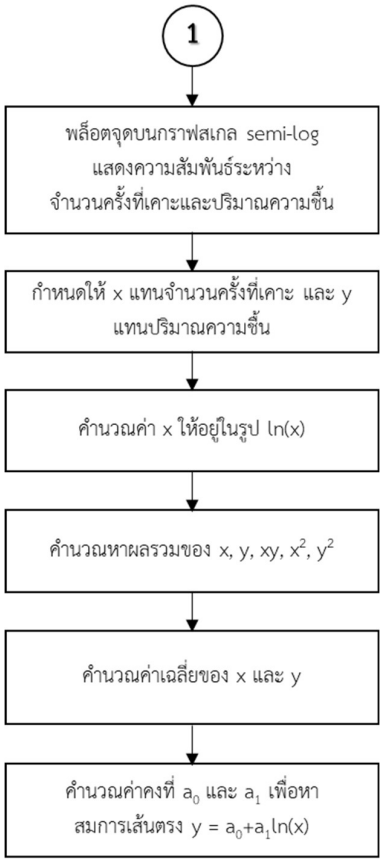
$$FI = \frac{y_1 - y_2}{\ln\left(\frac{x_2}{x_1}\right)}$$

เมื่อแทนค่า x_1 ในสมการ $y = a_0+a_1\ln(x)$ จะได้ค่า y_1

เมื่อแทนค่า x_2 ในสมการ $y = a_0+a_1\ln(x)$ จะได้ค่า y_2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3 ขั้นตอนการเขียนกราฟเส้นตรงหาค่าขีดจำกัดเหลว (ชูศักดิ์, 2565)

การใช้งานโปรแกรม

การใช้งานโปรแกรมประมวลผลการทดสอบหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน (LL และ PL) มีรายละเอียดวิธีการใช้งานดังต่อไปนี้

การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลดังต่อไปนี้จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับหาค่าขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติก และเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจได้ง่าย จึงใช้ข้อความในตารางเป็นภาษาไทยซึ่งจะมีความหมายเดียวกับข้อความภาษาอังกฤษในโปรแกรม

1. ข้อมูลผลการทดสอบขีดจำกัดเหลว

ทดสอบครั้งที่	1	2	3	4
จำนวนครั้งที่เคาะ	39	34	25	18
มวลของกระป๋องรวมดินเปียก (กรัม)	40.75	35.23	41.23	38.85
มวลของกระป๋องรวมดินแห้ง (กรัม)	35.08	30.85	35.19	33.36
มวลของกระป๋อง (กรัม)	19.96	19.58	20.09	19.97

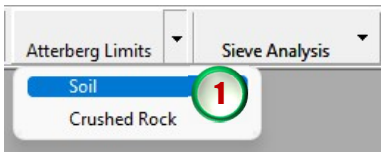
2. ข้อมูลผลการทดสอบขีดจำกัดพลาสติก

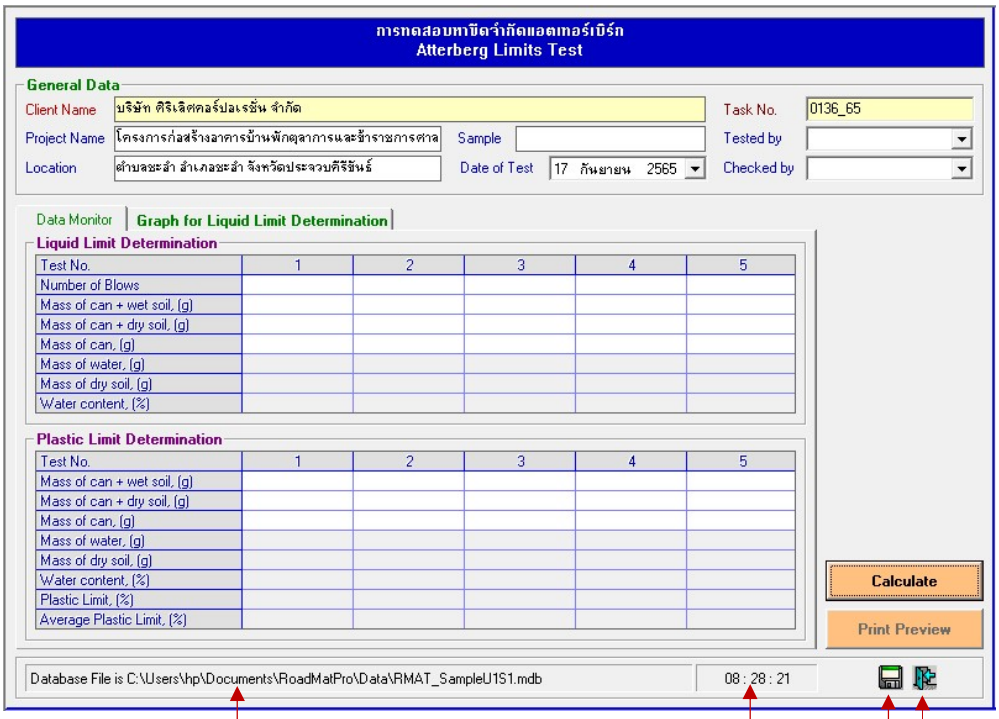
ทดสอบครั้งที่	1	2
มวลของกระป๋องรวมดินเปียก (กรัม)	22.53	22.46
มวลของกระป๋องรวมดินแห้ง (กรัม)	22.10	22.06
มวลของกระป๋อง (กรัม)	19.71	19.84

การป้อนข้อมูล

หลังจากสร้างไฟล์ข้อมูลแล้ว การใช้งานโปรแกรมจะเริ่มต้นจากการป้อนข้อมูล มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เลือกเมนูว่าจะวิเคราะห์และประมวลผลตัวอย่างชนิดใด Soil (ดิน) หรือ Crushed Rock (หินคลุก) ในที่นี้เลือก Soil ใช้เมาส์คลิกที่เมนู Soil จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง โดยจะดึงข้อมูลชื่อบริษัทหรือผู้ว่าจ้าง เลขที่งาน ชื่อโครงการ และสถานที่ตั้งโครงการ จากฐานข้อมูลที่ได้ป้อนไว้แล้วตอนสร้างไฟล์ใหม่ ดังแสดงในรูปข้างล่าง ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้โดยการคลิกและพิมพ์ข้อมูลใหม่ในช่องที่ต้องการ แล้วกดปุ่ม Enter เพื่อเลื่อนไปยังช่องถัดไป





เวลาปัจจุบัน

ปุ่มบันทึกข้อมูล

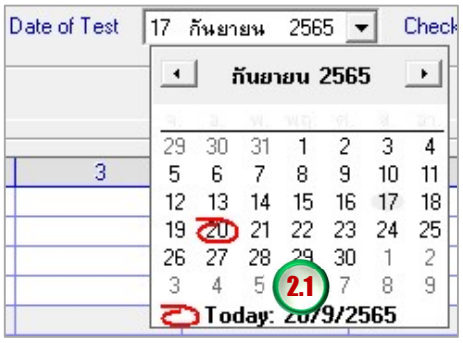
ปุ่มออกจากหน้าจอ

ชื่อและที่อยู่ของไฟล์ที่กำลังใช้งาน

สำหรับการป้อนข้อมูลต่าง ๆ จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

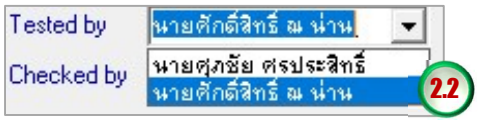
2. ป้อนข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

- ตัวอย่างทดสอบ (Sample) ป้อนชื่อตัวอย่าง เช่น ดินลูกรัง Silty Sand เป็นต้น
- วันที่ทดสอบ (Date of Test)



โปรแกรมจะแสดงวันที่ปัจจุบัน
สามารถเลือกเปลี่ยนวันที่ได้

- ผู้ทดสอบ (Tested by)

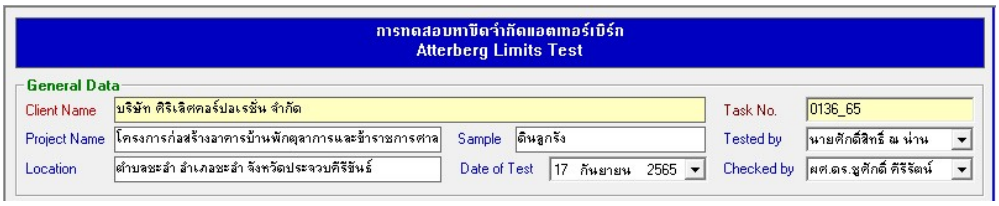


สามารถคลิกเลือกจากรายการ
หรือพิมพ์ชื่อลงไปได้เลย

- ผู้ตรวจสอบ (Checked by)

สามารถคลิกเลือกจากรายการ
หรือพิมพ์ชื่อลงไปได้เลย

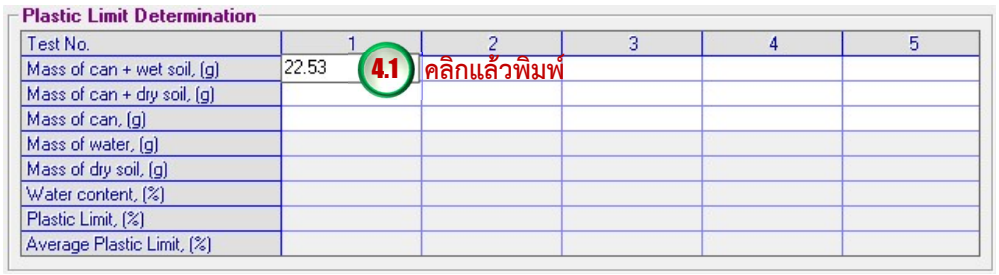
เมื่อป้อนข้อมูลเบื้องต้นเสร็จแล้วจะได้ดังรูปด้านล่าง และเมื่อคลิกปุ่มบันทึก ข้อมูลจะถูกจัดเก็บไว้ในไฟล์ทันที



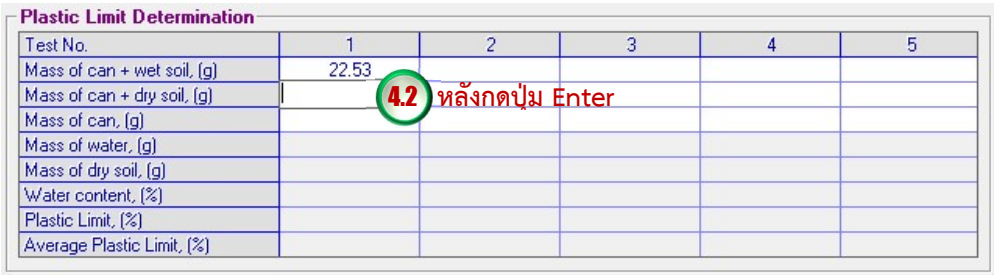
3. ป้อนข้อมูลจำนวนครั้งที่เคาะและข้อมูลสำหรับหาปริมาณความชื้นของการทดสอบหาขีดจำกัดเหลว โดยการใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้

เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว

4. ป้อนข้อมูลสำหรับหาปริมาณความชื้นของการทดสอบหาขีดจำกัดพลาสติก โดยการใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้



เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว



การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลสามารถดำเนินการได้ตลอดการใช้งาน โดยคลิกปุ่มบันทึก ซึ่งข้อมูลจะถูกจัดเก็บในไฟล์ฐานข้อมูลเฉพาะข้อมูลที่ป้อนเท่านั้น ผู้ใช้งานควรบันทึกข้อมูลก่อนการประมวลผลทุกครั้ง เนื่องจากจะทำให้สามารถเรียกดูข้อมูลการทดสอบย้อนหลังได้

การคำนวณ

การคำนวณผลการทดสอบโดยโปรแกรมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การหาปริมาณความชื้น (Water Content, w)

$$w = \frac{M_{CW} - M_{CD}}{M_{CD} - M_C} \times 100$$

เมื่อ M_{CW} = มวลของกระป๋องรวมดินเปียก (กรัม)

M_{CD} = มวลของกระป๋องรวมดินแห้ง (กรัม)

M_C = มวลของกระป๋อง (กรัม)

การหาขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL)

PL = ปริมาณความชื้นของดินที่ได้จากการทดสอบขีดจำกัดพลาสติก

การหาขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, LL)

$$LL = a_0 + a_1 \ln(25)$$

เมื่อ

$$a_1 = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} - a_1 \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

x_i = จำนวนครั้งที่เคาะทดสอบครั้งที่ i

y_i = ปริมาณความชื้นครั้งที่ทดสอบ i

การหาค่าดัชนีความเหนียว (Plasticity Index, PI)

$$PI = LL - PL$$

เมื่อ LL = ขีดจำกัดเหลว (ร้อยละ)

PL = ขีดจำกัดพลาสติก (ร้อยละ)

การหาดัชนีการไหล (Flow Index, FI)

$$FI = \frac{y_1 - y_2}{\ln\left(\frac{x_2}{x_1}\right)}$$

เมื่อ $y_1 = a_0 + a_1 \ln(x_1)$

$y_2 = a_0 + a_1 \ln(x_2)$

การประมวลผลของโปรแกรม

เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้วให้คลิกปุ่ม Calculate โปรแกรมจะประมวลผลการทดสอบและแสดงผลการคำนวณในตารางที่ป้อนข้อมูลไว้แล้วที่มีพื้นหลังสีเทาดังนี้

Data Monitor

Liquid Limit Determination

Test No.	1	2	3	4	5
Number of Blows	39	34	25	18	
Mass of can + wet soil, (g)	40.75	35.23	41.23	38.85	
Mass of can + dry soil, (g)	35.08	30.85	35.19	33.36	
Mass of can, (g)	19.96	19.58	20.09	19.97	
Mass of water, (g)	5.67	4.38	6.04	5.49	
Mass of dry soil, (g)	15.12	11.27	15.10	13.39	
Water content, (%)	37.50	38.86	40.00	41.00	

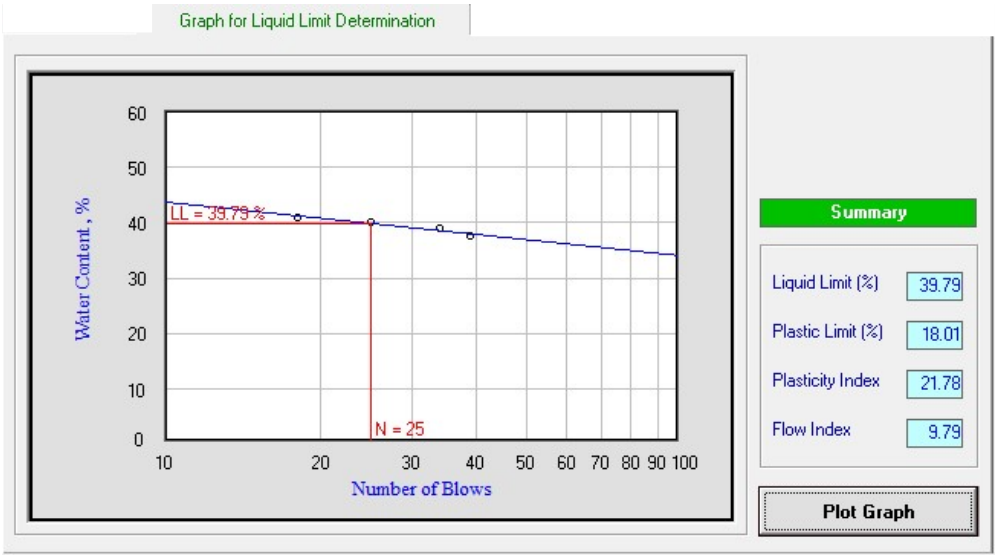
Plastic Limit Determination

Test No.	1	2	3	4	5
Mass of can + wet soil, (g)	22.53	22.46			
Mass of can + dry soil, (g)	22.10	22.06			
Mass of can, (g)	19.71	19.84			
Mass of water, (g)	0.43	0.40			
Mass of dry soil, (g)	2.39	2.22			
Water content, (%)	17.99	18.02			
Plastic Limit, (%)	17.99	18.02			
Average Plastic Limit, (%)	18.01				

โดยในตาราง Liquid Limit Determination จะยังไม่แสดงค่าขีดจำกัดเหลวแต่จะต้องนำค่าจำนวนครั้งที่เคาะและปริมาณความชื้นของการทดสอบแต่ละครั้งในเขียนกราฟเส้นตรงเสียก่อน แล้วจึงหาค่าปริมาณความชื้นที่ตรงกับจำนวนครั้งที่เคาะ 25 ครั้ง ซึ่งค่าปริมาณความชื้นที่หาได้ก็คือค่าขีดจำกัดเหลว ส่วนค่าปริมาณความชื้นที่คำนวณได้ในตาราง Plastic Limit Determination ก็คือค่าขีดจำกัดพลาสติก

การหาค่าขีดจำกัดเหลวและดัชนีพลาสติก

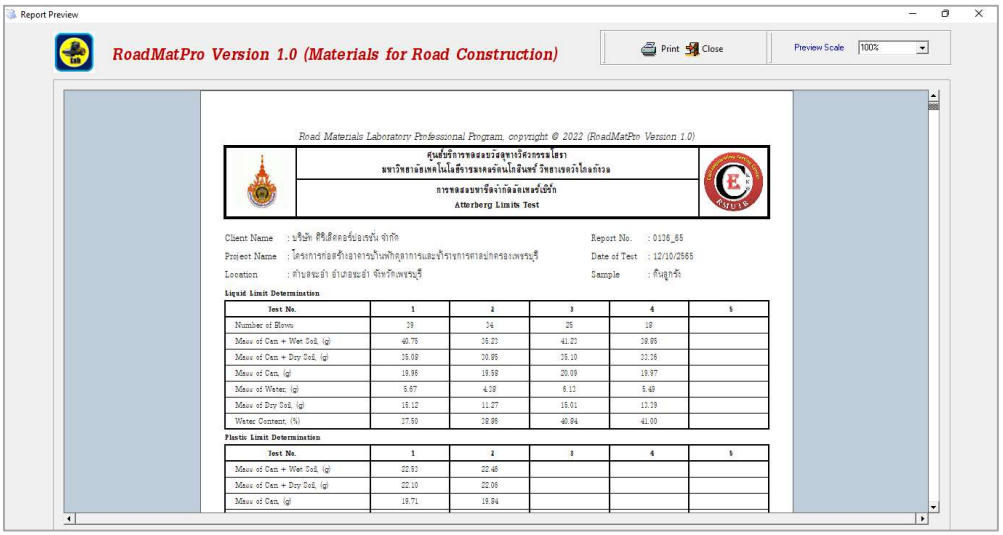
เมื่อคลิกแท็บ Graph for Liquid Limit Determination ให้คลิกปุ่ม **Plot Graph** โปรแกรมจะนำค่าจำนวนครั้งที่เคาะและปริมาณความชื้นของแต่ละครั้งที่ทดสอบจากตาราง Liquid Limit Determination มาเขียนเป็นกราฟเส้นตรงซึ่งใช้ระเบียบวิธีการถดถอยน้อยสุดแบบเชิงเส้น (Linear Regression) พร้อมทั้งแสดงค่าขีดจำกัดเหลว (LL) ซึ่งได้จากการแทนค่า x เท่ากับ 25 ในสมการ $y = a_0 + a_1\ln(x)$ และคำนวณค่าดัชนีการไหล (FI) ซึ่งได้จากการแทนค่า x_1 และ x_2 ในสมการ $y = a_0 + a_1\ln(x)$ แล้วจึงสรุปค่าที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม ดังรูปข้างล่าง



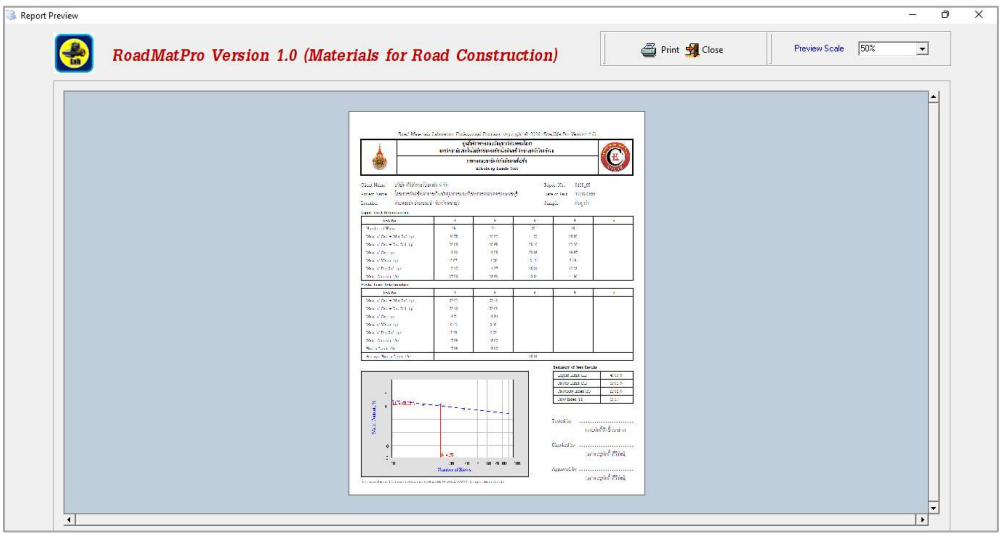
การรายงานผลทางเครื่องพิมพ์

เมื่อประมวลผลการทดสอบแล้ว สามารถรายงานผลทางเครื่องพิมพ์ได้โดยมีขั้นตอนดังนี้

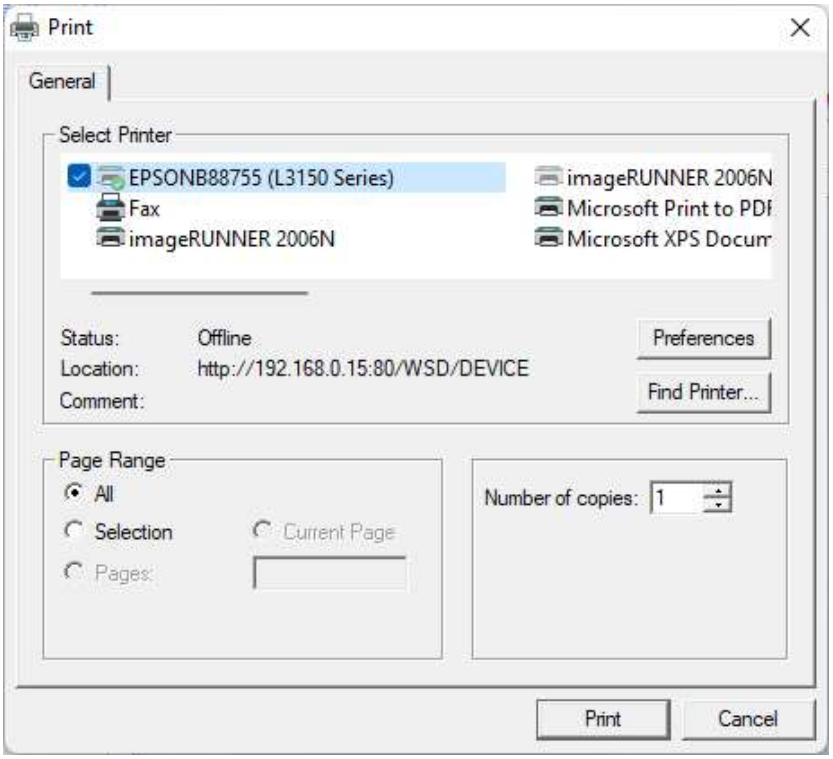
1. คลิกปุ่ม **Print Preview** หน้าจอจะแสดงภาพตัวอย่างก่อนพิมพ์ดังรูปข้างล่าง



สามารถดูภาพตัวอย่างก่อนพิมพ์ที่ขนาดร้อยละ 50 และร้อยละ 75 ได้ ซึ่งผลจากการเลือกให้แสดงขนาดที่ร้อยละ 50 Preview Scale 50% ดังแสดงในรูปข้างล่าง

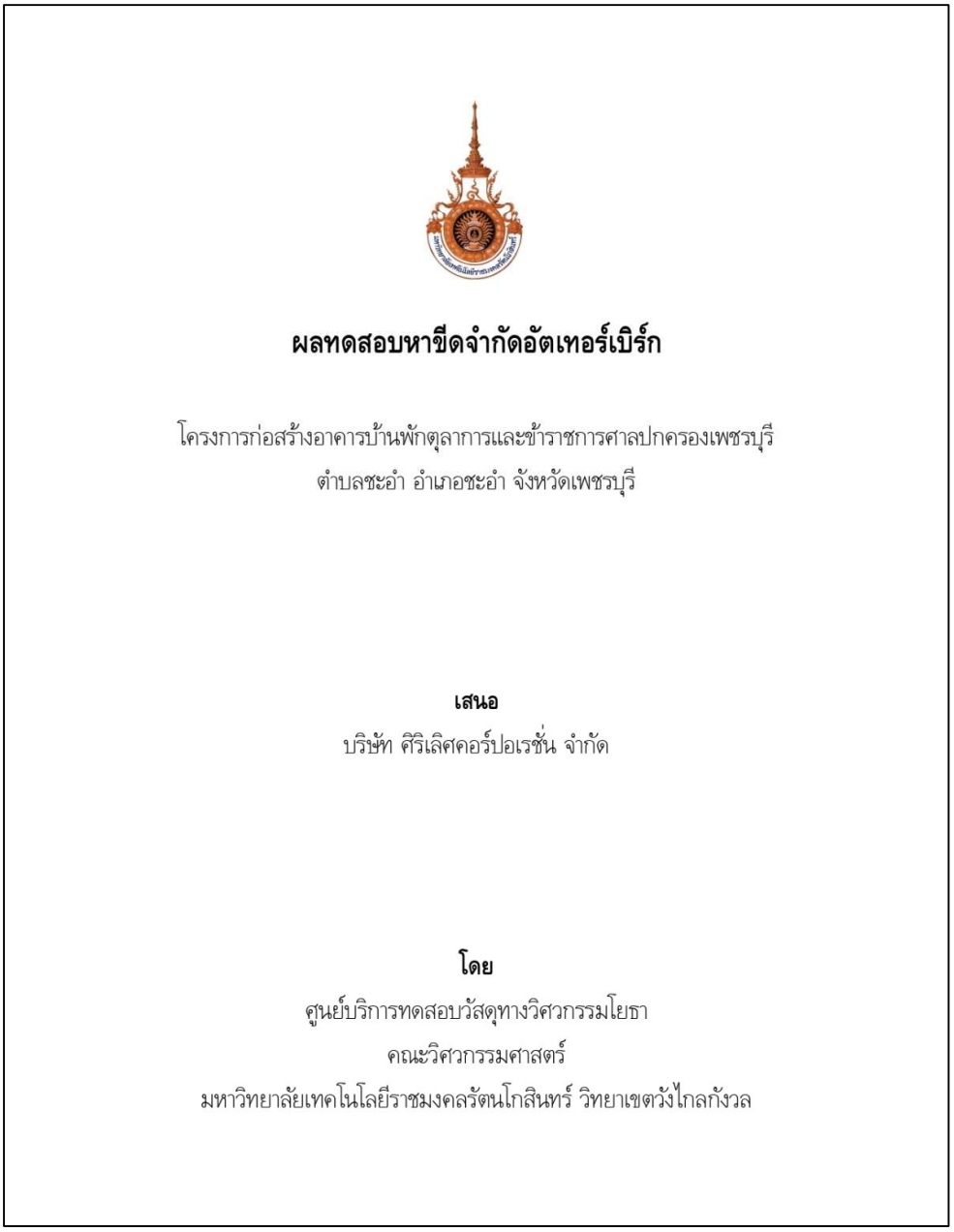


2. คลิกปุ่ม Print เพื่อสั่งให้พิมพ์รายงานผลการทดสอบออกทางเครื่องพิมพ์ โดยสามารถเลือกเครื่องพิมพ์ได้ตามต้องการดังรูปข้างล่าง แล้วคลิกปุ่มพิมพ์ หากต้องการปิดหน้าจอให้คลิกปุ่ม Close



3. ผลจากการสั่งพิมพ์ผลการทดสอบหาขีดจำกัดอัตเทอร์เบิร์กดังตัวอย่างต่อไปนี้

3.1 ใบปกรายงานผลการทดสอบ



ผลทดสอบหาขีดจำกัดอัตเทอร์เบิร์ก

โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

เสนอ
บริษัท ศิริเลิศคอร์ปอเรชั่น จำกัด

โดย
ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

3.2 ตัวอย่างรายงานผลการหาขีดจำกัดอัตเทอร์เบิร์ก

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบหาขีดจำกัดอัตเทอร์เบิร์ก
Atterberg Limits Test

Client Name : บริษัท ศิริเลิศดอร์ปอเรชั่น จำกัด
Project Name : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
Location : ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

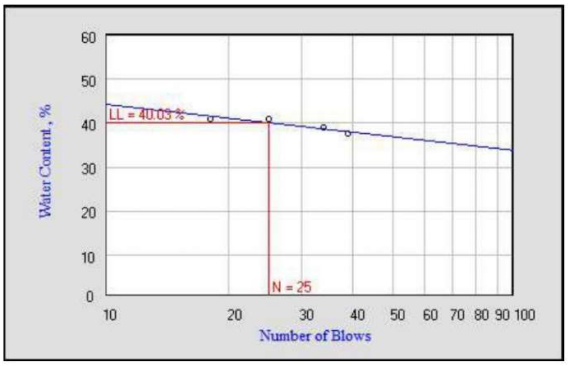
Report No. : 0136_65
Date of Test : 12/10/2565
Sample : ดินลูกรัง

Liquid Limit Determination

Test No.	1	2	3	4	5
Number of Blows	39	34	25	18	
Mass of Can + Wet Soil, (g)	40.75	35.23	41.23	38.85	
Mass of Can + Dry Soil, (g)	35.08	30.85	35.10	33.36	
Mass of Can, (g)	19.96	19.58	20.09	19.97	
Mass of Water, (g)	5.67	4.38	6.13	5.49	
Mass of Dry Soil, (g)	15.12	11.27	15.01	13.39	
Water Content, (%)	37.50	38.86	40.84	41.00	

Plastic Limit Determination

Test No.	1	2	3	4	5
Mass of Can + Wet Soil, (g)	22.53	22.46			
Mass of Can + Dry Soil, (g)	22.10	22.06			
Mass of Can, (g)	19.71	19.84			
Mass of Water, (g)	0.43	0.40			
Mass of Dry Soil, (g)	2.39	2.22			
Water Content, (%)	17.99	18.02			
Plastic Limit, (%)	17.99	18.02			
Average Plastic Limit, (%)	18.01				



Summary of Test Results

Liquid Limit (LL)	40.03 %
Plastic Limit (PL)	18.01 %
Plasticity Index (PI)	22.02 %
Flow Index (PI)	10.37

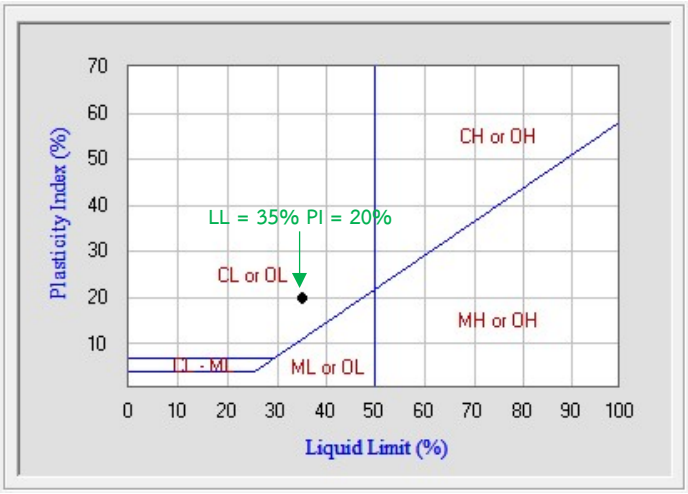
Tested by .....
(นายศักดิ์สิทธิ์ ณ น่าน)

Checked by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Approved by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\Data\RMAT_Sample_Manual.mdb

สำหรับกรณีที่ค่า LL และ PL ไม่เท่ากับศูนย์หรือ NP โปรแกรมจะนำค่า LL และ PI ไปพล็อตในแผนภูมิความเหนียวด้วย เช่น ตัวอย่างดินมีค่า LL เท่ากับ 35 และค่า PL เท่ากับ 15 ดังรูปข้างล่าง เป็นต้น



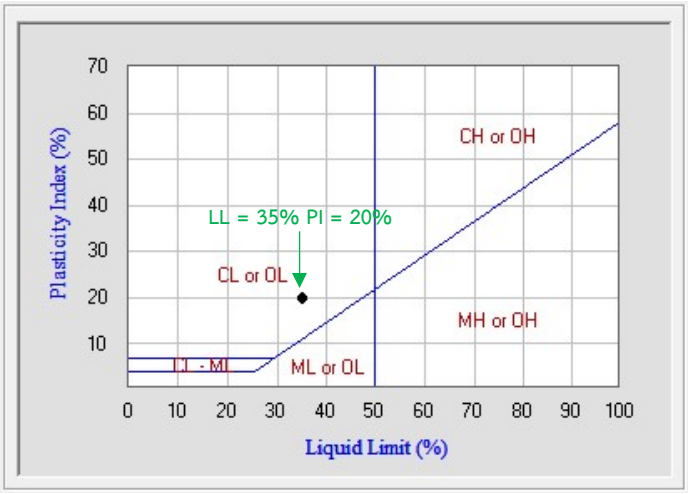
โดยโปรแกรมจะแสดงทั้งสัญลักษณ์กลุ่มดิน (Group Symbol) และชื่อกลุ่มดิน (Group Name) สำหรับวิธีการของ USCS และสัญลักษณ์กลุ่มดินและชื่อทั่วไปของกลุ่มดิน (Typical Names) สำหรับวิธีการของ AASHTO

สำหรับการจำแนกประเภทดินด้วยโปรแกรมที่มีข้อมูลคุณสมบัติของดินที่แตกต่างกัน ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของโปรแกรมทั้งการจำแนกสัญลักษณ์กลุ่มดินและการจำแนกชื่อกลุ่มดิน โดยครอบคลุมทุกกลุ่มดินตามมาตรฐาน ASTM D2487 (USCS) และ ASTM D3282 (AASHTO) ดังแสดงในตารางที่ 3-7 มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงผลการจำแนกประเภทดินเม็ดหยาบที่มีร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าร้อยละ 5 ด้วยวิธีของ USCS ซึ่งจะพิจารณาจากข้อมูลขนาดคละและการกระจายตัวของเม็ดดิน

ตารางที่ 4 แสดงผลการจำแนกประเภทดินเม็ดหยาบที่มีร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อยู่ระหว่างร้อยละ 5 – 12 ด้วยวิธีของ USCS โดยใช้ข้อมูลขนาดคละและการกระจายตัวของเม็ดดินจากตารางที่ 1 สำหรับจำแนกดินส่วนหยาบ (พิจารณาว่าดินมีขนาดคละกันดีหรือไม่ดี) และเพิ่มข้อมูลคุณสมบัติขีดจำกัดความข้นเหลว (LL และ PL) รวมทั้งค่าดัชนีความเหนียวที่คำนวณจากสมการเส้น A-Line (PI-A) สำหรับจำแนกดินส่วนละเอียด (ผ่านจะแกรงเบอร์ 200)

สำหรับกรณีที่ค่า LL และ PL ไม่เท่ากับศูนย์หรือ NP โปรแกรมจะนำค่า LL และ PI ไปพล็อตในแผนภูมิความเหนียวด้วย เช่น ตัวอย่างดินมีค่า LL เท่ากับ 35 และค่า PL เท่ากับ 15 ดังรูปข้างล่าง เป็นต้น



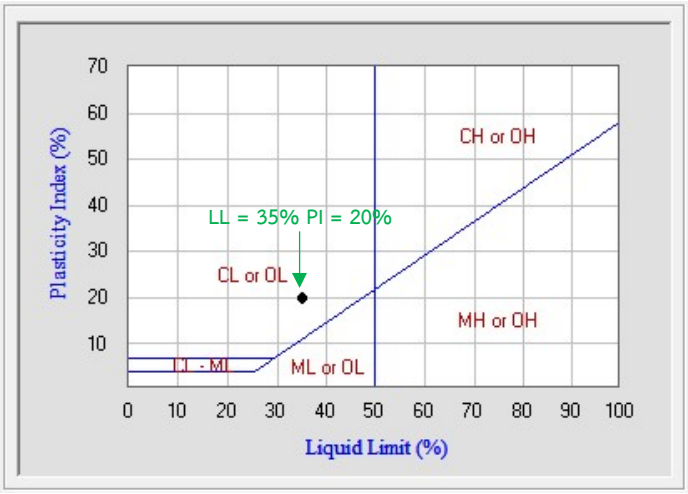
โดยโปรแกรมจะแสดงทั้งสัญลักษณ์กลุ่มดิน (Group Symbol) และชื่อกลุ่มดิน (Group Name) สำหรับวิธีการของ USCS และสัญลักษณ์กลุ่มดินและชื่อทั่วไปของกลุ่มดิน (Typical Names) สำหรับวิธีการของ AASHTO

สำหรับการจำแนกประเภทดินด้วยโปรแกรมที่มีข้อมูลคุณสมบัติของดินที่แตกต่างกัน ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของโปรแกรมทั้งการจำแนกสัญลักษณ์กลุ่มดินและการจำแนกชื่อกลุ่มดิน โดยครอบคลุมทุกกลุ่มดินตามมาตรฐาน ASTM D2487 (USCS) และ ASTM D3282 (AASHTO) ดังแสดงในตารางที่ 3-7 มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงผลการจำแนกประเภทดินเม็ดหยาบที่มีร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าร้อยละ 5 ด้วยวิธีของ USCS ซึ่งจะพิจารณาจากข้อมูลขนาดคละและการกระจายตัวของเม็ดดิน

ตารางที่ 4 แสดงผลการจำแนกประเภทดินเม็ดหยาบที่มีร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อยู่ระหว่างร้อยละ 5 – 12 ด้วยวิธีของ USCS โดยใช้ข้อมูลขนาดคละและการกระจายตัวของเม็ดดินจากตารางที่ 1 สำหรับจำแนกดินส่วนหยาบ (พิจารณาว่าดินมีขนาดคละกันดีหรือไม่ดี) และเพิ่มข้อมูลคุณสมบัติขีดจำกัดความข้นเหลว (LL และ PL) รวมทั้งค่าดัชนีความเหนียวที่คำนวณจากสมการเส้น A-Line (PI-A) สำหรับจำแนกดินส่วนละเอียด (ผ่านจะแกรงเบอร์ 200)

สำหรับกรณีที่ค่า LL และ PL ไม่เท่ากับศูนย์หรือ NP โปรแกรมจะนำค่า LL และ PI ไปพล็อตในแผนภูมิความเหนียวด้วย เช่น ตัวอย่างดินมีค่า LL เท่ากับ 35 และค่า PL เท่ากับ 15 ดังรูปข้างล่าง เป็นต้น



โดยโปรแกรมจะแสดงทั้งสัญลักษณ์กลุ่มดิน (Group Symbol) และชื่อกลุ่มดิน (Group Name) สำหรับวิธีการของ USCS และสัญลักษณ์กลุ่มดินและชื่อทั่วไปของกลุ่มดิน (Typical Names) สำหรับวิธีการของ AASHTO

สำหรับการจำแนกประเภทดินด้วยโปรแกรมที่มีข้อมูลคุณสมบัติของดินที่แตกต่างกัน ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของโปรแกรมทั้งการจำแนกสัญลักษณ์กลุ่มดินและการจำแนกชื่อกลุ่มดิน โดยครอบคลุมทุกกลุ่มดินตามมาตรฐาน ASTM D2487 (USCS) และ ASTM D3282 (AASHTO) ดังแสดงในตารางที่ 3-7 มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงผลการจำแนกประเภทดินเม็ดหยาบที่มีร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าร้อยละ 5 ด้วยวิธีของ USCS ซึ่งจะพิจารณาจากข้อมูลขนาดคละและการกระจายตัวของเม็ดดิน

ตารางที่ 4 แสดงผลการจำแนกประเภทดินเม็ดหยาบที่มีร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อยู่ระหว่างร้อยละ 5 – 12 ด้วยวิธีของ USCS โดยใช้ข้อมูลขนาดคละและการกระจายตัวของเม็ดดินจากตารางที่ 1 สำหรับจำแนกดินส่วนหยาบ (พิจารณาว่าดินมีขนาดคละกันดีหรือไม่ดี) และเพิ่มข้อมูลคุณสมบัติขีดจำกัดความข้นเหลว (LL และ PL) รวมทั้งค่าดัชนีความเหนียวที่คำนวณจากสมการเส้น A-Line (PI-A) สำหรับจำแนกดินส่วนละเอียด (ผ่านจะแกรงเบอร์ 200)

บทที่ 5

การหาความถ่วงจำเพาะของดิน
Specific Gravity Test

บทนำ

ความถ่วงจำเพาะถูกนิยามไว้ว่า สัดส่วนของน้ำหนักวัตถุต่อน้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่าวัตถุนั้น สำหรับคำนิยามของค่าความถ่วงจำเพาะในวิศวกรรมปฐพีคือ สัดส่วนของหน่วยน้ำหนัก (ความหนาแน่น) ของเม็ดดินต่อหน่วยน้ำหนัก (ความหนาแน่น) ของน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แต่ตามมาตรฐาน ASTM D 854 และ BOWLES (2001) กำหนดให้การหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินพิจารณาที่ค่าหน่วยน้ำหนัก (ความหนาแน่น) ของน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะโดยอ้างอิงค่าหน่วยน้ำหนัก (ความหนาแน่น) ของน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสแทน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

หรือ

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{M_s}{V_s \rho_w}$$

ค่าความถ่วงจำเพาะของดินเป็นคุณสมบัติสำคัญที่สามารถใช้บ่งบอกแร่ที่เป็นส่วนประกอบของดินได้ และยังสามารถใช้สำหรับหาค่าคุณสมบัติอื่น ๆ ที่สำคัญของดิน เช่น ความพรุน (Porosity) ความหนาแน่น (Density) ระดับความอิ่มตัว (Degree of Saturation) เป็นต้น โดยทั่วไปค่าความถ่วงจำเพาะของดินมีค่าอยู่ในช่วง 2.60 - 2.80 กรณีที่ดินมีค่าต่ำกว่านี้ก็อาจมีพวกอินทรีย์สารหรือมีธาตุเบาต่าง ๆ ปะปนอยู่ และกรณีที่ดินมีค่าสูงกว่านี้ก็อาจมีธาตุหนักปะปนอยู่ สำหรับค่าทั่วไปของความ

ถ่วงจำเพาะของดินชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 และค่าทั่วไปของความถ่วงจำเพาะของแร่ในดินต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ความถ่วงจำเพาะของดินชนิดต่าง ๆ (ศลิษา และแหลมทอง, 2563)

ชนิดของดิน	ค่าความถ่วงจำเพาะ
ทั่วไป (General)	2.60 – 2.80
ดินกรุงเทพฯ (Bangkok Soil)	2.60 – 2.72
ทราย (Sand)	2.65 – 2.67
ดินตะกอนทราย (Silt)	2.67 – 2.70
ดินเหนียวและดินเหนียวปนตะกอนทราย (Clay and Silty Clay)	2.67 – 2.90
ดินลูกรัง (Laterite)	2.70 – 3.00
ดินปนสารอินทรีย์ (Organic Soil)	อาจต่ำกว่า 2.00

ตารางที่ 2 ความถ่วงจำเพาะของแร่ในดินชนิดต่าง ๆ (Day, 2012)

ชนิดของแร่	ค่าความถ่วงจำเพาะ	รายละเอียด
Quartz	2.65	แร่ซิลิเกตซึ่งเป็นแร่ในดินที่พบมากที่สุด
K Feldspar	2.54 – 2.57	เฟลด์สปาร์เป็นแร่ซิลิเกตด้วยซึ่งเป็นแร่ในดินที่พบมากอันดับสอง
Na or Ca Feldspar	2.62 – 2.76	
Calcite	2.71	เป็นส่วนประกอบพื้นฐานของหินคาร์บอเนต
Dolomite	2.85	
Muscovite	2.76 – 3.0	แร่ซิลิเกตชนิดแผ่น (กลุ่มแร่ไมกา)
Biotite	2.8 – 3.2	
Hematite	5.2 – 5.3	มักทำให้ดินมีสีน้ำตาลแดง
Gypsum	2.35	ก่อให้เกิดซัลเฟตทำความเสียหายต่อคอนกรีต
Serpentine	2.5 – 2.6	แร่ซิลิเกตชนิดแผ่นหรือเส้นใย
Kaolinite	2.61 – 2.66	แร่ดินเหนียวซิลิเกต มีค่าการบวมตัวต่ำ
Illite	2.60 – 2.86	แร่ดินเหนียวซิลิเกต มีค่าการบวมตัวปานกลาง
Montmorillonite	2.74 – 2.78	แร่ดินเหนียวซิลิเกต มีค่าการบวมตัวสูง

การทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมนี้จะใช้สำหรับประมวลผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 2

รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม อธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. การป้อนข้อมูลเบื้องต้น เป็นการป้อนข้อมูลทางแป้นพิมพ์ ได้แก่ ชื่อบริษัทหรือผู้ว่าจ้าง หมายเลขรับงาน ชื่อโครงการ สถานที่ตั้งโครงการ ชนิดตัวอย่าง วันที่ทดสอบ ชื่อผู้ทดสอบ และชื่อผู้ตรวจสอบ
2. ป้อนข้อมูลจากการสอบเทียบมวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำ เป็นการป้อนข้อมูลมวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ทำการสอบเทียบ ซึ่งเป็นการหามวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ระหว่าง 20 – 40 องศาเซลเซียส
3. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ทำการสอบเทียบ เป็นการเขียนเส้นกราฟโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเรื่อง สมการถดถอยแบบกำลังสองน้อยสุด (Least Square Regression) ดังรายละเอียดดังนี้

3.1 พล็อตจุดบนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ทำการการสอบเทียบ โดยกำหนดให้ x แทนอุณหภูมิที่ทำการสอบเทียบและ y แทนมวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำ

3.2 หากเลือกรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งของสมการถดถอยแบบกำลังสองน้อยสุด (ชูศักดิ์, 2565) มีรายละเอียดดังนี้

(1) สมการถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear Regression) เป็นการหาสมการเชิงเส้นซึ่งมีรูปแบบของสมการคือ $y = a_0+a_1x$ โดยเริ่มจากการคำนวณหาผลรวมของ x, y, xy, x^2, y^2 รวมทั้งค่า $\overline{x}$ และ $\overline{y}$ เป็นการเตรียมค่าของตัวแปรสำหรับนำไปหาค่าคงที่ a_0 และ a_1

เมื่อ

$$a_1 = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

$$a_0 = \overline{y} - a_1\overline{x}$$

(2) สมการถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Regression) เป็นการหาสมการแบบไม่เชิงเส้นซึ่งมีรูปแบบของสมการคือ $y = ae^{bx}$ ซึ่งสามารถจัดรูปแบบให้อยู่ในรูปเชิงเส้นได้คือ ln(y) = ln(a)+bx โดยมีขั้นตอนดังนี้

- คำนวณค่า y ให้อยู่ในรูป ln(y)
- คำนวณหาผลรวมของ x, y, xy, x^2, y^2 รวมทั้งค่า $\overline{x}$ และ $\overline{y}$ เป็นการเตรียมค่าของตัวแปรสำหรับนำไปหาค่าคงที่ a_0 และ a_1 เหมือนกับวิธีสมการถดถอยเชิงเส้น
- คำนวณค่า a จากสมการ $a = EXP(a_0)$ สำหรับค่า b จะเท่ากับ a_1

(3) สมการถดถอยแบบโพลิโนเมียล (Polynomial Regression) เป็นการปรับสมการสำหรับชุดข้อมูลที่มีความสัมพันธ์แบบเส้นโค้ง โดยจัดสมการให้อยู่ในรูปแบบของสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง คือ $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- คำนวณหาผลรวมของ x, x^2, x^3, x^4, y, xy, x^2y เป็นการเตรียมค่าของตัวแปรสำหรับนำไปเขียนเมทริกซ์สำหรับสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง $[A]_{3x3}\{x\}_{3x1} = \{B\}_{3x1}$
- ใช้ระเบียบวิธีเมทริกซ์ผกผันหา $[A]^{-1}$ แล้วนำไปคูณกับเมทริกซ์ {B} จะได้ค่าคงที่ a_0, a_1 และ a_2

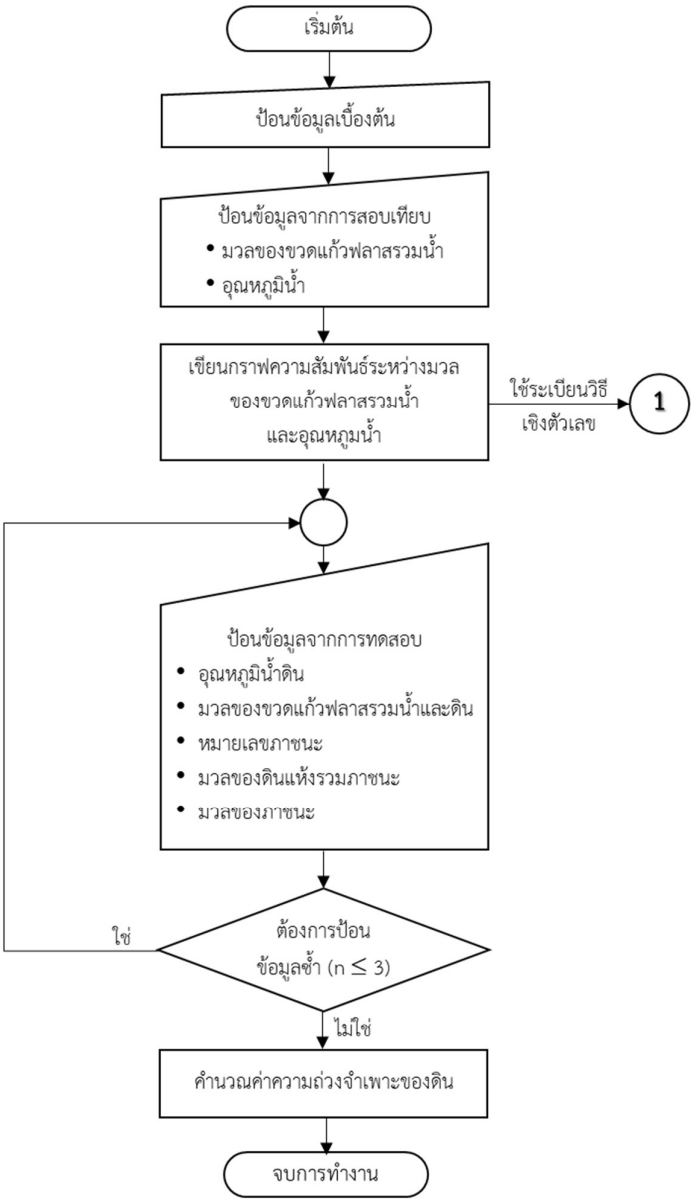
3.3 ดำเนินการต่อจากข้อ 3.2 โปรแกรมจะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) จากสมการที่เลือก

3.4 หากเลือกอัตโนมัติโปรแกรมจะหาสมการและค่า r^2 ของทั้งรูปแบบสมการแบบเชิงเส้น เอ็กโพเนนเชียล และโพลิโนเมียลอันดับสองตามที่ได้อธิบายในข้อ 3.2

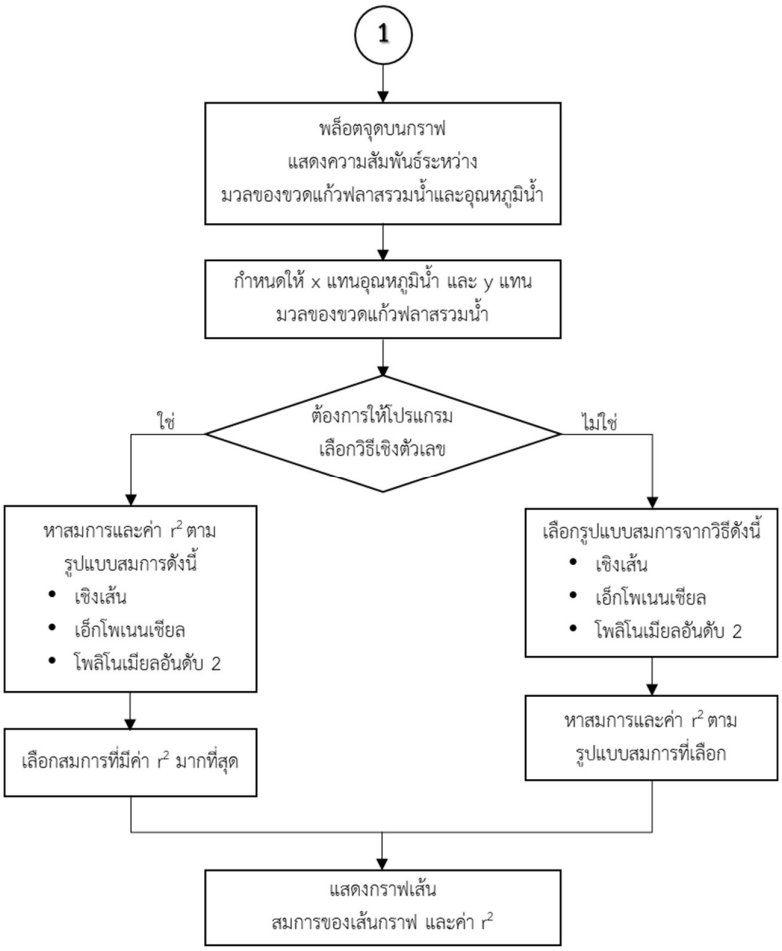
3.5 ดำเนินการต่อจากข้อ 3.4 โปรแกรมจะเลือกรูปแบบสมการโดยพิจารณาจากค่า r^2 ที่มีค่ามากที่สุด

3.6 โปรแกรมจะแสดงกราฟเส้น พร้อมทั้งสมการของกราฟเส้นและค่า r^2

4. ป้อนข้อมูลจากการทดสอบ เป็นการป้อนข้อมูลทางแป้นพิมพ์ ซึ่งสามารถป้อนได้ 3 ชุดข้อมูล ประกอบด้วยข้อมูลอุณหภูมิน้ำดิน มวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำและดิน หมายเลขภาชนะ มวลของดินแห้งรวมภาชนะ และมวลของภาชนะ สำหรับข้อมูลมวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำ ได้จากการนำอุณหภูมิทดสอบไปแทนในสมการของกราฟเส้นที่หาได้จากขั้นตอนการสอบเทียบ
5. คำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของดิน โปรแกรมจะคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของดินที่อุณหภูมิทดสอบ แล้วจึงนำค่าความถ่วงจำเพาะคูณด้วยค่าปรับแก้ความหนาแน่นของน้ำ (K) ซึ่งได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิใด ๆ กับความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3 ขั้นตอนการเขียนกราฟสอบเทียบมวลของขวดฟลาสรวมน้ำ

การใช้งานโปรแกรม

การใช้งานโปรแกรมประมวลผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน มีรายละเอียดวิธีการใช้งานดังต่อไปนี้

การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลดังต่อไปนี้จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน และเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจได้ง่าย จึงใช้ข้อความในตารางเป็นภาษาไทยซึ่งจะมีความหมายเดียวกับข้อความภาษาอังกฤษในโปรแกรม

1. ข้อมูลการสอบเทียบมวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำ

ทดสอบครั้งที่	1	2	3	4
มวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำ (กรัม)	672.8	673.5	674.4	674.9
อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	35	30	25	20

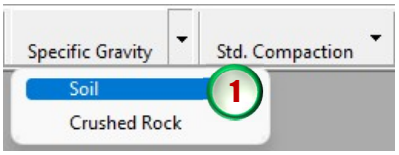
2. ข้อมูลผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ

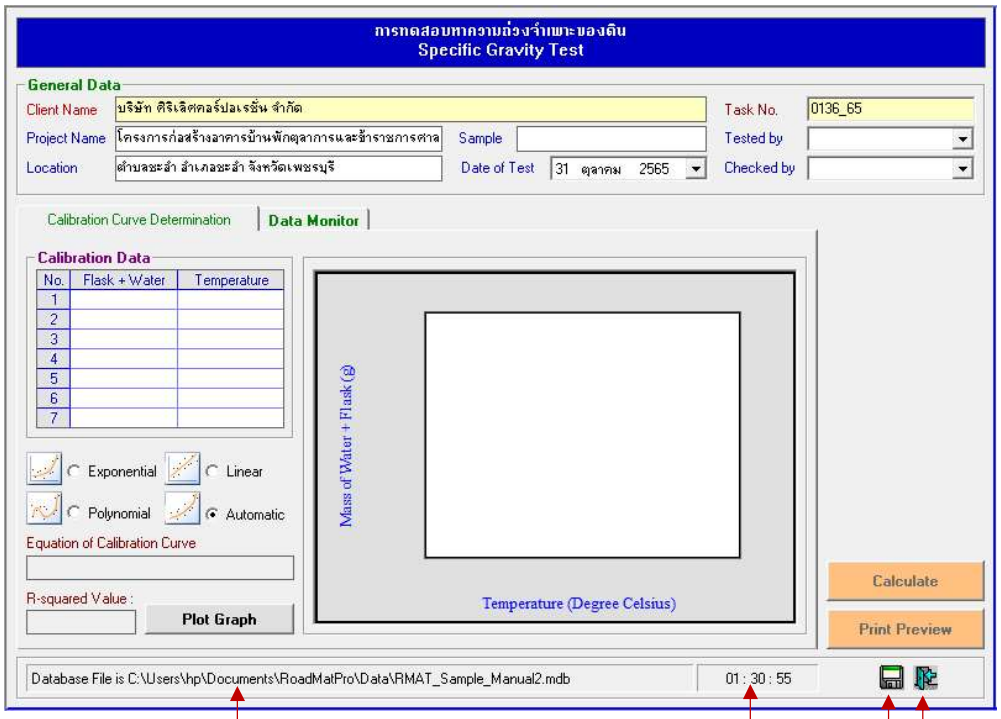
ทดสอบครั้งที่	1	2
อุณหภูมิน้ำดิน (องศาเซลเซียส)	30	28
มวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำและดิน (กรัม)	705.7	706.5
หมายเลขภาชนะ	C1	C2
มวลของดินแห้งรวมภาชนะ (กรัม)	313.8	289.4
มวลของภาชนะ (กรัม)	263.5	238.5

การป้อนข้อมูล

หลังจากสร้างไฟล์ข้อมูลแล้ว การใช้งานโปรแกรมจะเริ่มต้นจากการป้อนข้อมูล มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เลือกเมนูว่าจะวิเคราะห์และประมวลผลตัวอย่างชนิดใด Soil (ดิน) หรือ Crushed Rock (หินคลุก) ในที่นี้เลือก Soil ใช้เมาส์คลิกที่เมนู Soil จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง โดยจะดึงข้อมูลชื่อบริษัทหรือผู้ว่าจ้าง เลขที่งาน ชื่อโครงการ และสถานที่ตั้งโครงการ จากฐานข้อมูลที่ได้ป้อนไว้แล้วตอนสร้างไฟล์ใหม่ ดังแสดงในรูปข้างล่าง ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้โดยการคลิกและพิมพ์ข้อมูลใหม่ในช่องที่ต้องการ แล้วกดปุ่ม Enter เพื่อเลื่อนไปยังช่องถัดไป





เวลาปัจจุบัน

ปุ่มบันทึกข้อมูล

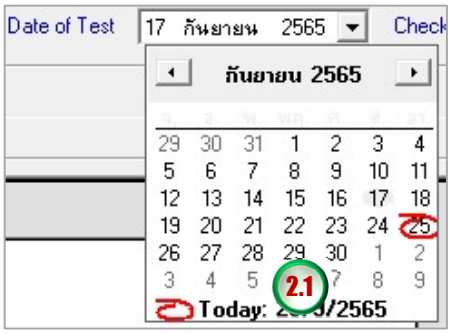
ปุ่มออกจากหน้าจอ

ชื่อและที่อยู่ของไฟล์ที่กำลังใช้งาน

สำหรับการป้อนข้อมูลต่าง ๆ จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

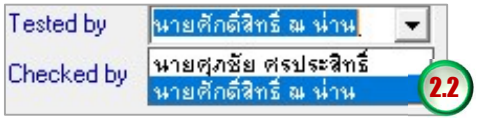
2. ป้อนข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

- ตัวอย่างทดสอบ (Sample) ป้อนชื่อตัวอย่าง เช่น ดินลูกรัง Silty Sand เป็นต้น
- วันที่ทดสอบ (Date of Test)



โปรแกรมจะแสดงวันที่ปัจจุบัน สามารถเลือกเปลี่ยนวันที่ได้

- ผู้ทดสอบ (Tested by)



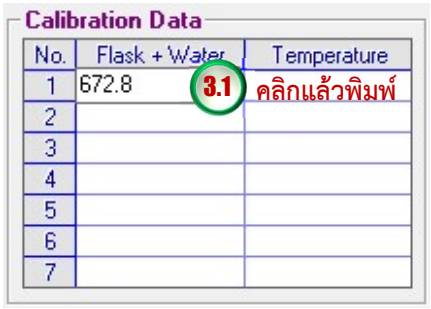
สามารถคลิกเลือกจากรายการ หรือพิมพ์ชื่อลงไปได้เลย

- ผู้ตรวจสอบ (Checked by)

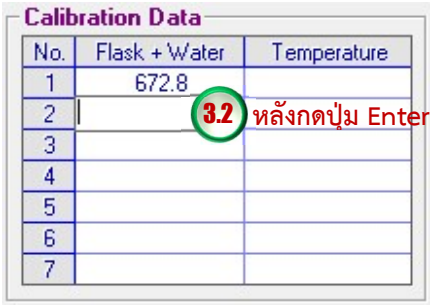
สามารถคลิกเลือกจากรายการ หรือพิมพ์ชื่อลงไปได้เลย

เมื่อป้อนข้อมูลเบื้องต้นเสร็จแล้วจะได้ดังรูปด้านล่าง และเมื่อคลิกปุ่มบันทึก ข้อมูลจะถูกจัดเก็บไว้ในไฟล์ทันที

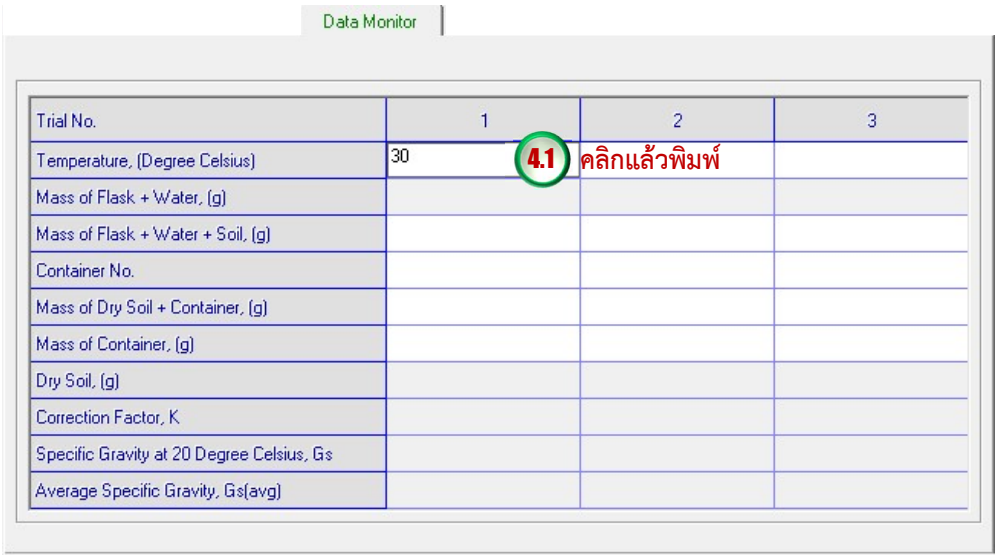
3. ป้อนข้อมูลการสอบเทียบมวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำที่อุณหภูมิน้ำต่าง ๆ โดยการใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้



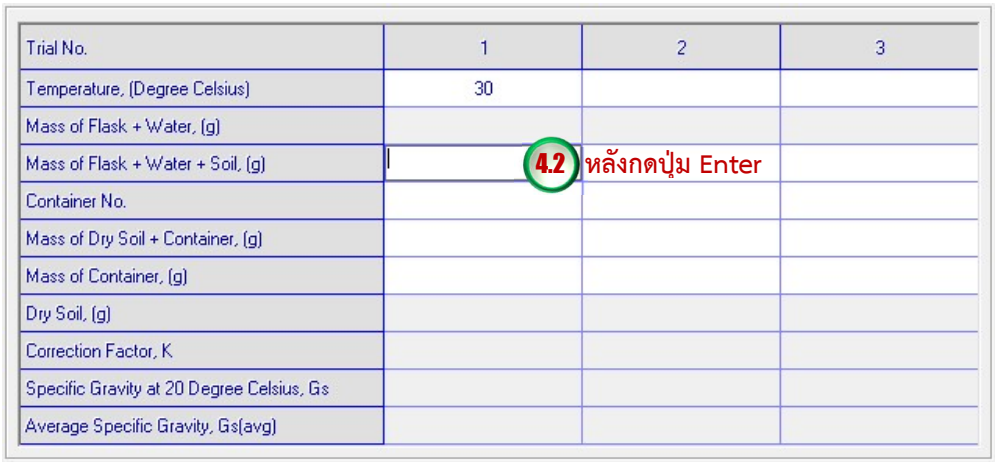
เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว



4. ป้อนข้อมูลสำหรับหาความถ่วงจำเพาะของดิน โดยการคลิกที่แท็บ Data Monitor และใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้



เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว



การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลสามารถดำเนินการได้ตลอดการใช้งาน โดยคลิกปุ่มบันทึก ซึ่งข้อมูลจะถูกจัดเก็บในไฟล์ฐานข้อมูลเฉพาะข้อมูลที่ป้อนเท่านั้น ผู้ใช้งานควรบันทึกข้อมูลก่อนการประมวลผลทุกครั้ง เนื่องจากจะทำให้สามารถเรียกดูข้อมูลการทดสอบย้อนหลังได้

การคำนวณ

การคำนวณผลการทดสอบโดยโปรแกรมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การหามวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำ (Mass of Flask + Water, M_{FW})

ค่า M_{FW} จะขึ้นอยู่กับการแทนค่าอุณหภูมิของน้ำสมการของกราฟเส้นที่ได้จากการสอบเทียบตามรูปแบบ ดังนี้

- สมการถดถอยแบบเชิงเส้น

$$M_{FW} = a_0 + a_1 T_{FW}$$

- สมการถดถอยแบบเอ็กโพเนนเชียล

$$M_{FW} = ae^{bT_{FW}}$$

- สมการถดถอยแบบโพลิโนเมียล

$$M_{FW} = a_0 + a_1 T_{FW} + a_2 T_{FW}^2$$

เมื่อ T_{FW} = อุณหภูมิของน้ำดินทดสอบ (องศาเซลเซียส)

a, a_0, a_1, a_2, b = ค่าคงที่ซึ่งได้จากวิธีเชิงตัวเลข

การหาความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific Gravity of Soil, G_S)

$$G_{S(T\ ^\circ C)} = \frac{M_S}{\left(M_{FW} + M_S\right) - M_{FWS}}$$

$$G_{S(20\ ^\circ C)} = K\ G_{S(T\ ^\circ C)}$$

เมื่อ $G_{S(T\ ^\circ C)}$ = ความถ่วงจำเพาะของดินที่อุณหภูมิของน้ำในการทดสอบ

$G_{S(20\ ^\circ C)}$ = ความถ่วงจำเพาะของดินที่อุณหภูมิของน้ำที่ 20 องศาเซลเซียส

K = ค่าปรับแก้ความหนาแน่นของน้ำ

$$= \frac{\rho_{w(T^\circ C)}}{\rho_{w(20^\circ C)}}$$

$\rho_{w(T^\circ C)}$ = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิทดสอบ (ตารางที่ 2)

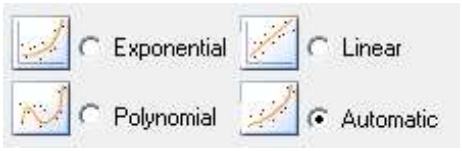
$\rho_{w(20^\circ C)}$ = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 3 ค่าปรับแก้ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ASTM D 854)

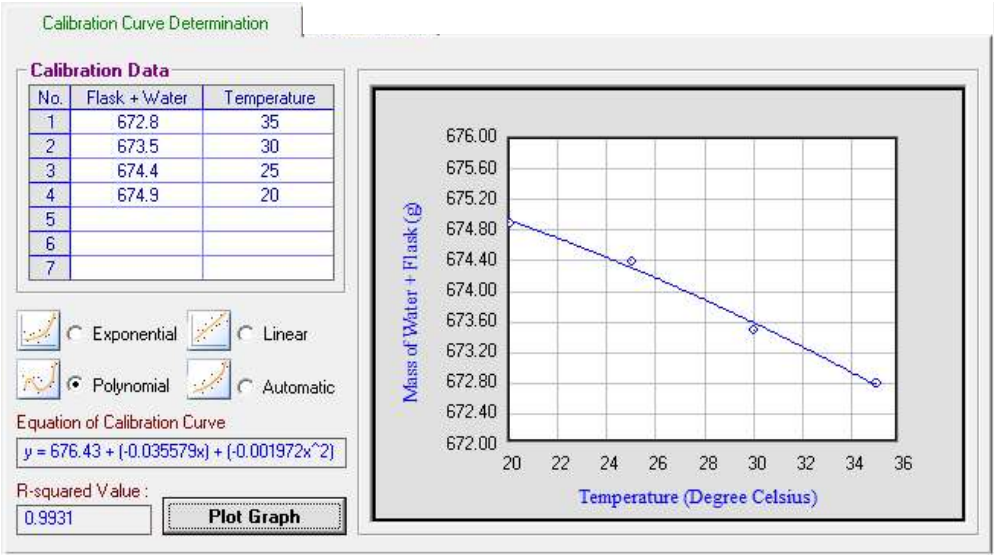
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่นของน้ำ (กรัม/ลบ.ซม.)	ค่าปรับแก้ความหนาแน่น (K)
15	0.99910	1.00090
16	0.99895	1.00074
17	0.99878	1.00057
18	0.99860	1.00039
19	0.99841	1.00020
20	0.99821	1.00000
21	0.99799	0.99979
22	0.99777	0.99957
23	0.99754	0.99933
24	0.99730	0.99909
25	0.99705	0.99894
26	0.99679	0.99858
27	0.99652	0.99831
28	0.99624	0.99803
29	0.99595	0.99774
30	0.99565	0.99744

การประมวลผลของโปรแกรม

เมื่อป้อนข้อมูลสอบเทียบเรียบร้อยแล้วให้คลิกตัวเลือกระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับหาสมการเพื่อใช้เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ทำการการสอบเทียบดังรูปด้านข้าง แล้วคลิกปุ่ม



Plot Graph โดยหากเลือก Automatic โปรแกรมจะเลือกระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ให้ค่า r^2 มากที่สุด แล้วจะแสดงจุดที่ตัวเลือกพร้อมแสดงสมการ ค่า r^2 และเขียนกราฟเส้นดังรูปข้างล่าง



เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลของขวดแก้วฟลาสรวมน้ำและอุณหภูมิของน้ำแล้ว ให้คลิกปุ่ม Calculate โปรแกรมจะประมวลผลการทดสอบและแสดงผลการคำนวณในตารางที่ป้อนข้อมูลไว้แล้วในแท็บ Data Monitor ที่มีพื้นหลังสีเทา โดยค่า Mass of Flask + Water จะได้จากการแทนค่าอุณหภูมิของน้ำดินทดสอบในสมการที่หาได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข หลังจากหาค่าความถ่วงจำเพาะของดินในการทดสอบแต่ละครั้งแล้วจะแสดงค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของดินด้วย ดังนี้

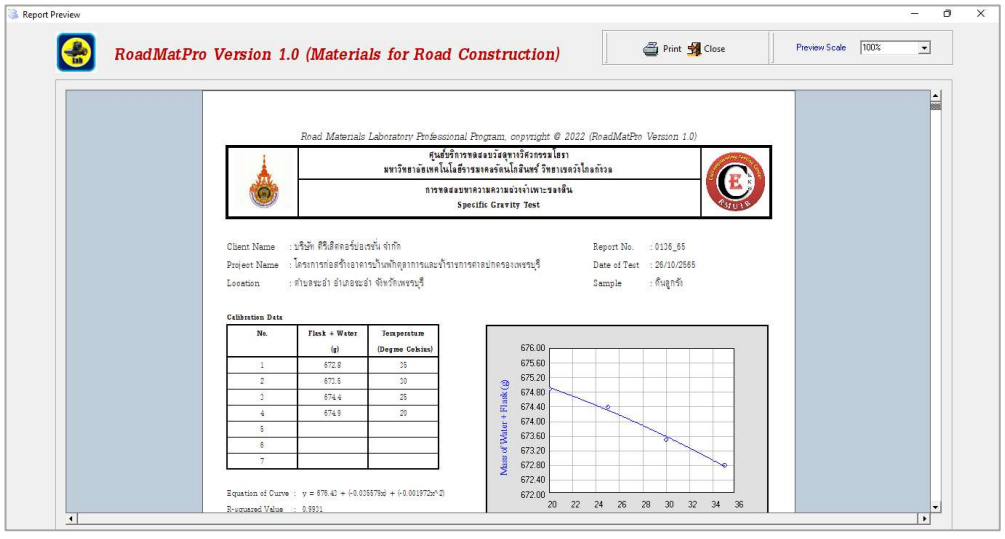
Data Monitor

Trial No.	1	2	3
Temperature, (Degree Celsius)	30	28	
Mass of Flask + Water, (g)	673.59	673.89	
Mass of Flask + Water + Soil, (g)	705.70	706.50	
Container No.	C1	C2	
Mass of Dry Soil + Container, (g)	313.80	289.40	
Mass of Container, (g)	263.50	238.50	
Dry Soil, (g)	50.30	50.90	
Correction Factor, K	0.9975	0.9981	
Specific Gravity at 20 Degree Celsius, Gs	2.76	2.78	
Average Specific Gravity, Gs(avg)	2.77		

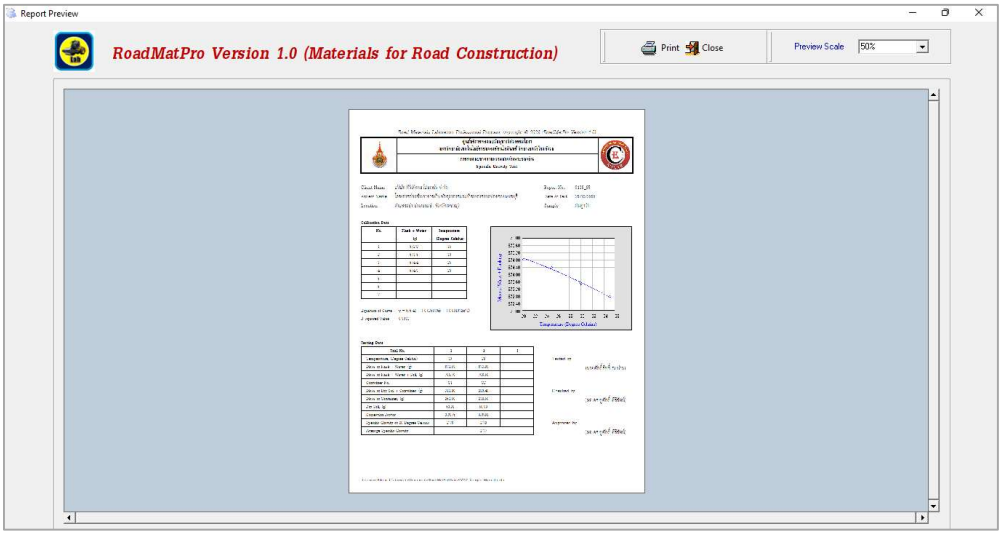
การรายงานผลทางเครื่องพิมพ์

เมื่อประมวลผลการทดสอบแล้ว สามารถรายงานผลทางเครื่องพิมพ์ได้โดยมีขั้นตอนดังนี้

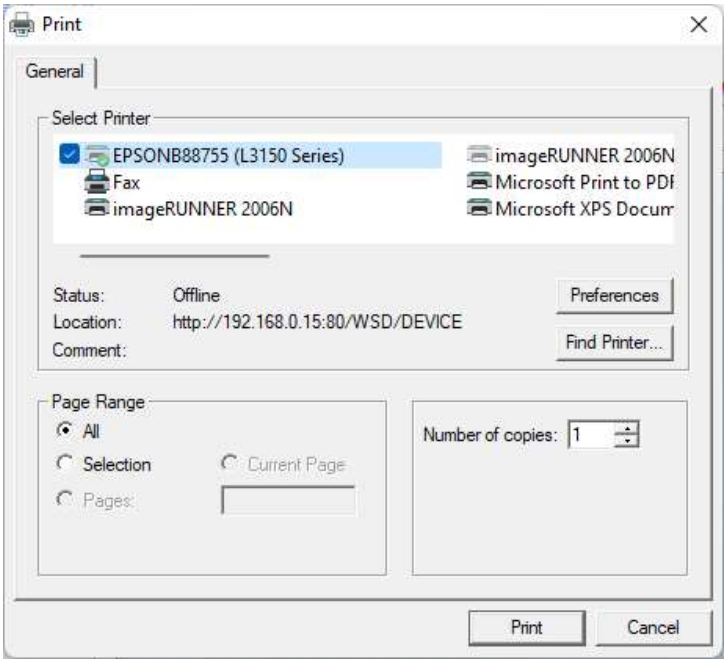
1. คลิกปุ่ม **Print Preview** หน้าจอจะแสดงภาพตัวอย่างก่อนพิมพ์ดังรูปข้างล่าง



สามารถดูภาพตัวอย่างก่อนพิมพ์ที่ขนาดร้อยละ 50 และร้อยละ 75 ได้ ซึ่งผลจากการเลือกให้แสดงขนาดที่ร้อยละ 50 Preview Scale 50% ดังแสดงในรูปข้างล่าง



2. คลิกปุ่ม Print เพื่อสั่งให้พิมพ์รายงานผลการทดสอบออกทางเครื่องพิมพ์ โดยสามารถเลือกเครื่องพิมพ์ได้ตามต้องการดังรูปข้างล่าง แล้วคลิกปุ่มพิมพ์ หากต้องการปิดหน้าจอให้คลิกปุ่ม Close



3. ผลจากการสั่งพิมพ์ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดินดังตัวอย่างต่อไปนี้

3.1 ใบปกรายงานผลการทดสอบ

ผลทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน

โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

เสนอ
บริษัท ศิริเลิศคอร์ปอเรชั่น จำกัด

โดย
ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

3.2 ตัวอย่างรายงานผลการหาความถ่วงจำเพาะของดิน

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน
Specific Gravity Test

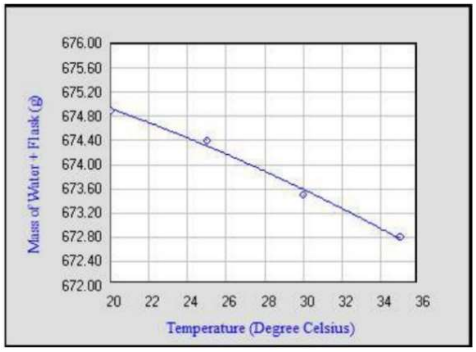
Client Name : บริษัท ศิริเลิศคอร์ปอเรชั่น จำกัด
Project Name : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
Location : ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

Report No. : 0136_65
Date of Test : 26/10/2565
Sample : ดินลูกรัง

Calibration Data

No.	Flask + Water (g)	Temperature (Degree Celsius)
1	672.8	35
2	673.5	30
3	674.4	25
4	674.9	20
5		
6		
7		

Equation of Curve : y = 676.43 + (-0.035579x) + (-0.001972x^2)
R-squared Value : 0.9931



Testing Data

Trial No.	1	2	3
Temperature, (Degree Celsius)	30	28	
Mass of Flask + Water, (g)	673.59	673.89	
Mass of Flask + Water + Soil, (g)	705.70	706.50	
Container No.	C1	C2	
Mass of Dry Soil + Container, (g)	313.80	289.40	
Mass of Container, (g)	263.50	238.50	
Dry Soil, (g)	50.30	50.90	
Correction Factor	0.9975	0.9981	
Specific Gravity at 20 Degree Celsius	2.76	2.78	
Average Specific Gravity	2.77		

Tested by .....
(นายศักดิ์สิทธิ์ ณ น่าน)

Checked by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Approved by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\Data\RMAT_Sample_Manual.mdb

บทที่ 6

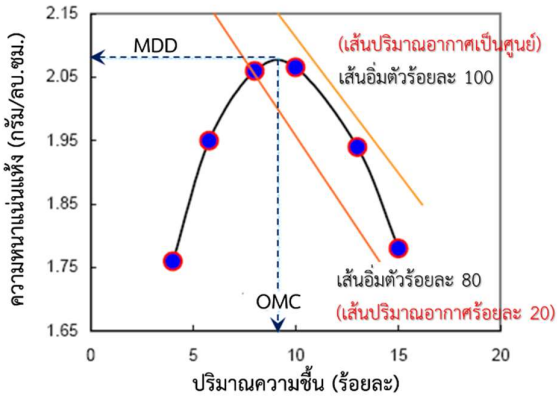
การหาพารามิเตอร์การบดอัด
Compaction Test

บทนำ

การบดอัดดินเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินซึ่งประยุกต์ใช้พลังงานเชิงกลจากรถบด เพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้กับดิน ส่งผลต่อคุณสมบัติที่สำคัญของดินได้แก่ (1) เพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือน (2) ลดการยุบตัวที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต และ (3) ลดการซึมผ่านของน้ำ ทั้ง 3 คุณสมบัตินี้มีความสำคัญต่องานก่อสร้างที่ต้องใช้ดินเป็นวัสดุ เช่น งานถนน งานสนามบิน งานเขื่อนดิน เป็นต้น ปริมาณการบดอัดจะถูกกำหนดด้วยค่าความหนาแน่นแห้งของดิน โดยปกติดินแห้งจะสามารถถูกบดอัดให้แน่นที่สุดได้เมื่อเติมน้ำลงไปในดินจนถึงปริมาณหนึ่ง ซึ่งจะเรียกปริมาณน้ำนั้นว่า ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) และความแน่นที่ได้จะถูกเรียกว่า ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density, MDD) ซึ่งค่า OMC และ MDD จะเรียกโดยรวมว่า พารามิเตอร์การบดอัด

ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุดสามารถหาได้จากการแปลผลทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการดังรูปที่ 1 ซึ่งปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะถูกนำไปใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบหาค่าซี.บี.อาร์. และใช้เป็นปริมาณน้ำสำหรับสเปรย์ในดินที่บดอัดในสนาม ส่วนความหนาแน่นแห้งสูงสุดจะนำไปใช้ในการควบคุมความแน่นของดินบดอัดในสนาม โดยการทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการสามารถทดสอบได้ 2 แบบ ได้แก่ การทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) และการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ซึ่งรายละเอียดของการเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบการบดอัดดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 โดยพลังงานที่ใช้ในการบดอัดสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{พลังงานที่ใช้ในการบดอัด} = \frac{\text{น้ำหนักค้อน x ระยะยก x จำนวนครั้งบดอัดต่อชั้น x จำนวนชั้น}}{\text{ปริมาตรของโมล}}$$



รูปที่ 1 การหาค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ชูศักดิ์, 2554)

ตารางที่ 1 การเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (AASHTO T99)

รายละเอียด	วิธี A	วิธี B	วิธี C	วิธี D
ขนาดของโมล	∅4นิ้วx4.6นิ้ว	∅6นิ้วx4.6นิ้ว	∅4นิ้วx4.6นิ้ว	∅6นิ้วx4.6นิ้ว
มวลของค้อน (ปอนด์)	5.5	5.5	5.5	5.5
ระยะยก (นิ้ว)	12	12	12	12
จำนวนชั้น	3	3	3	3
จำนวนครั้งบดอัดต่อชั้น	25	56	25	56
ขนาดดินผ่านตะแกรง	เบอร์ 4	เบอร์ 4	3/4 นิ้ว	3/4 นิ้ว

ตารางที่ 2 การเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (AASHTO T180)

รายละเอียด	วิธี A	วิธี B	วิธี C	วิธี D
ขนาดของโมล	∅4นิ้วx4.6นิ้ว	∅6นิ้วx4.6นิ้ว	∅4นิ้วx4.6นิ้ว	∅6นิ้วx4.6นิ้ว
มวลของค้อน (ปอนด์)	10	10	10	10
ระยะยก (นิ้ว)	18	18	18	18
จำนวนชั้น	5	5	5	5
จำนวนครั้งบดอัดต่อชั้น	25	56	25	56
ขนาดดินผ่านตะแกรง	เบอร์ 4	เบอร์ 4	3/4 นิ้ว	3/4 นิ้ว

การทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมสามารถประมวลผลได้ทั้งการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction) และการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction) โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 2

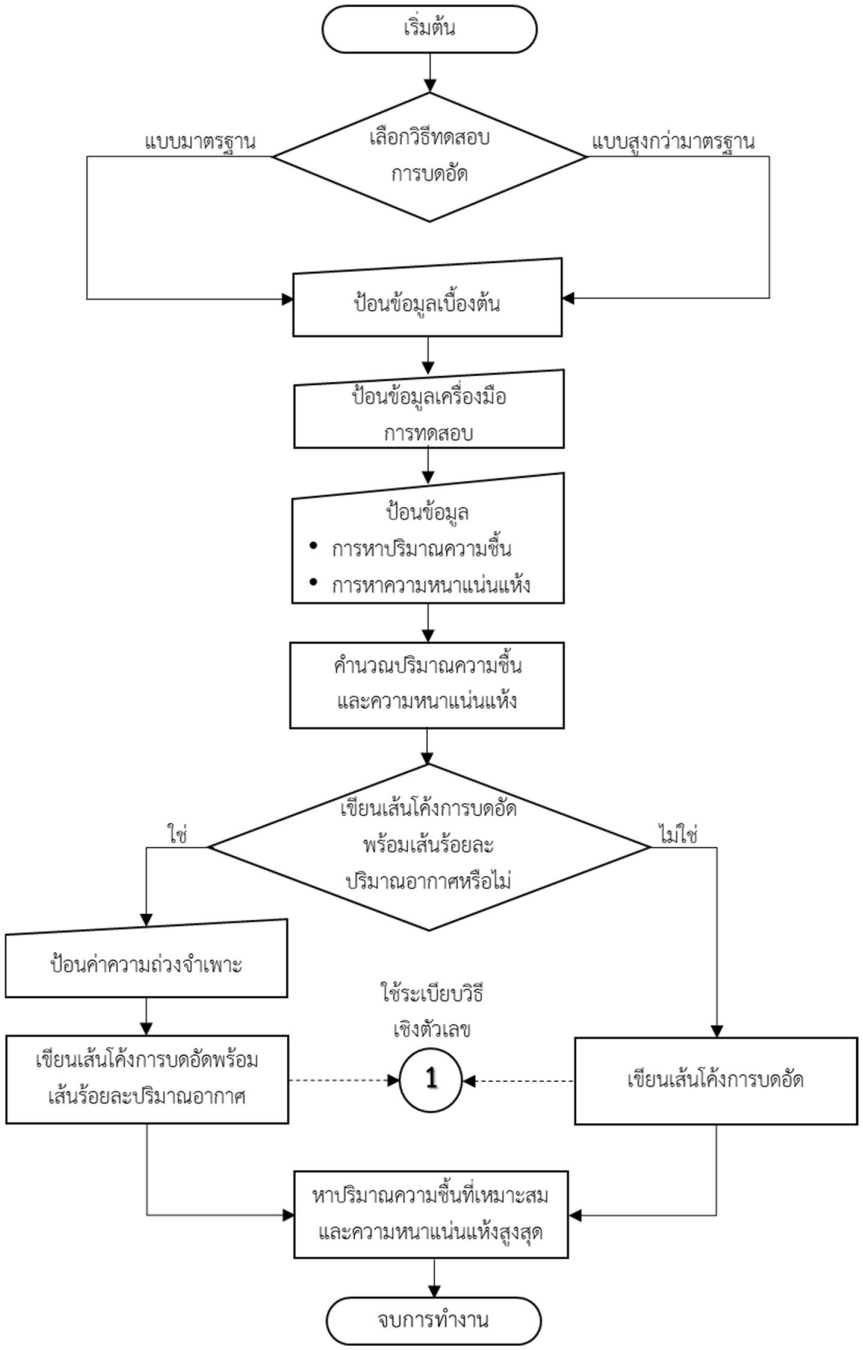
รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม อธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. การเลือกวิธีการทดสอบ เป็นการเลือกประมวลผลการทดสอบการบดอัดว่าเป็นการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน หรือการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน
2. การป้อนข้อมูลเบื้องต้น เป็นการป้อนข้อมูลทางแป้นพิมพ์ ได้แก่ ชื่อบริษัทหรือผู้ว่าจ้าง หมายเลขรับงาน ชื่อโครงการ สถานที่ตั้งโครงการ ชนิดตัวอย่าง วันที่ทดสอบ ชื่อผู้ทดสอบ และชื่อผู้ตรวจสอบ
3. การป้อนข้อมูลเครื่องมือการทดสอบ เป็นการป้อนข้อมูลทางแป้นพิมพ์ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางของโมล ความสูงของโมล มวลของค้อน จำนวนครั้งบดอัดต่อชั้น และจำนวนชั้น
4. การป้อนข้อมูลทางแป้นพิมพ์สำหรับหาค่าปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้ง ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

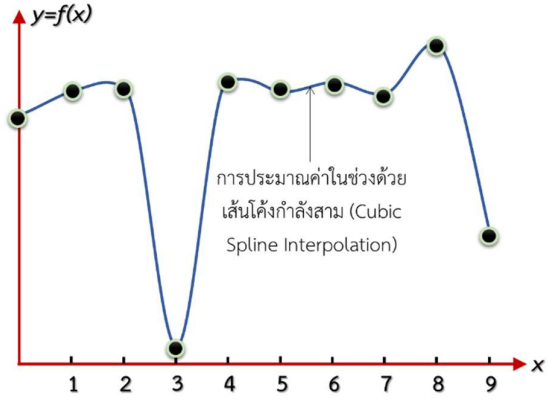
4.1 ข้อมูลการหาปริมาณความชื้น ได้แก่ หมายเลขกระป๋อง มวลของกระป๋องรวมดินเปียก มวลของกระป๋องรวมดินแห้ง และมวลของกระป๋อง

4.2 ข้อมูลการหาความหนาแน่นแห้ง ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สมมติ มวลของดินเปียกรวมโมล และมวลของของโมล

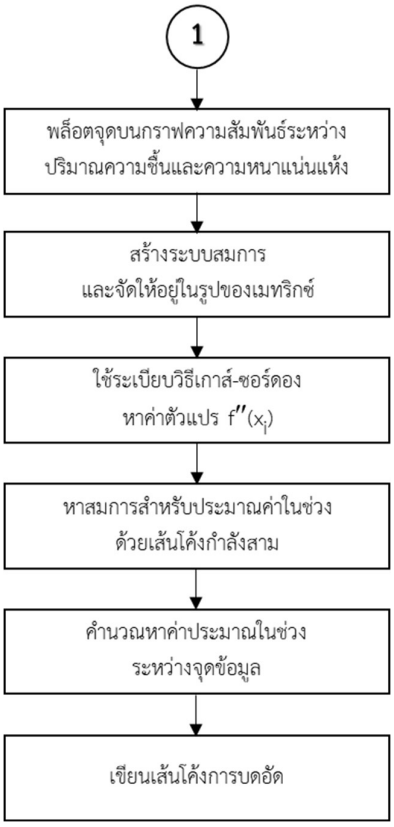
5. การคำนวณผลการทดสอบ เป็นการประมวลผลข้อมูลการทดสอบที่ป้อนไว้แล้วเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น และความหนาแน่นแห้ง
6. การเขียนเส้นโค้งการบดอัด เป็นการเขียนเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้งที่ได้จากข้อ 5 โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเรื่องการประมาณค่าในช่วงด้วยเส้นโค้งกำลังสาม (Cubic Spline Interpolation) ระเบียบวิธีนี้จะให้ค่าประมาณที่สามารถนำไปเขียนเส้นกราฟให้มีลักษณะเรียบและมีความต่อเนื่องของทุกจุดข้อมูล ดังรูปที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดการพล็อตเส้นโค้งการบดอัดใน ASTM D698 และ ASTM D1157 สำหรับการเขียนเส้นโค้งการบดอัดแสดงเป็นขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 4 มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหาค่าพารามิเตอร์การบดอัด



รูปที่ 3 ระเบียบวิธีการประมาณค่าในช่วงด้วยเส้นโค้งกำลังสาม (ชูศักดิ์, 2565)



รูปที่ 4 ขั้นตอนการเขียนเส้นโค้งการบดอัด (ชูศักดิ์, 2565)

6.1 นำข้อมูลปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้งที่ได้จากการคำนวณใน ข้อ 5 มาพล็อตจุดบนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้ง

6.2 สร้างระบบสมการจากข้อมูลปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้ง และจัดระบบสมการให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์

6.3 แก้ระบบสมการในรูปของเมทริกซ์ด้วยวิธีเกาส์-ซอร์ดอง (Gauss Jordan) เพื่อหาค่าตัวแปรซึ่งในที่นี้คือ $f''(x_i)$

6.4 นำค่า $f''(x_i)$ ไปแทนค่าในสมการข้างล่างเพื่อหาสมการ $f(x_i)$ ของแต่ละช่วงระหว่างจุดข้อมูล

$$(x_i - x_{i-1})f''(x_{i-1}) + 2(x_{i+1} - x_{i-1})f''(x_i) + (x_{i+1} - x_i)f''(x_{i+1})$$
$$= \frac{6}{x_{i+1} - x_i}\Big(f(x_{i+1}) - f(x_i)\Big) + \frac{6}{x_i - x_{i-1}}\Big(f(x_{i-1}) - f(x_i)\Big)$$

6.5 คำนวณค่าประมาณระหว่างจุดข้อมูลในสมการ $f(x_i)$ ทุก ๆ ปริมาณความชื้นร้อยละ 0.01 นับจากจุดข้อมูลเริ่มต้น

6.6 นำค่าประมาณที่คำนวณได้ในข้อ 6.5 มาเขียนเส้นโค้งการบดอัด

7. การเขียนเส้นร้อยละปริมาณอากาศ เช่น เส้นปริมาณอากาศร้อยละศูนย์ (Zero Air Void Line) หรือเส้นระดับความอิ่มตัวเต็มที่ (Fully Saturation Line) เป็นต้น เป็นการนำค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ระดับความอิ่มตัว (Degree of Saturation) และปริมาณความชื้น (Water Content) มาคำนวณหาค่าความหนาแน่นแห้ง แล้วนำค่าปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้งที่คำนวณได้ตามค่าระดับความอิ่มตัว (100 – ร้อยละปริมาณอากาศ) ที่กำหนดมาเขียนเส้นร้อยละปริมาณอากาศ

8. การหาค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุด เป็นการประมวลผลโดยการวนลูปหาค่าความหนาแน่นแห้งที่มีค่ามากที่สุดจากข้อมูลค่าความหนาแน่นแห้งที่คำนวณได้จากข้อ 6 ซึ่งค่าความหนาแน่นแห้งที่มีค่ามากที่สุดจะถูกแสดงเป็นค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (MDD) และปริมาณความชื้นที่ตรงกับค่าความหนาแน่นแห้งที่มีค่ามากที่สุดจะถูกแสดงเป็นค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (OMC)

การใช้งานโปรแกรม

การใช้งานโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบการบดอัดสามารถใช้งานได้ 2 วิธี ดังนี้

1. การทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน
2. การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลดังต่อไปนี้จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับทั้ง 2 วิธีที่ได้กล่าวไว้แล้ว และเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจได้ง่าย จึงใช้ข้อความในตารางเป็นภาษาไทยซึ่งจะมีความหมายเดียวกับข้อความภาษาอังกฤษในโปรแกรม

1. ข้อมูลอุปกรณ์และการทดสอบ

รายละเอียด	การบดอัดแบบมาตรฐาน	การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน
เส้นผ่านศูนย์กลางของโมล (ซม.)	10.15	15.21
ความสูงของโมล (ซม.)	11.74	11.78
มวลของค้อน (กก.)	2.5	4.5
จำนวนครั้งบดอัดต่อชั้น (ครั้ง)	25	56
จำนวนชั้น (ชั้น)	3	5

2. ข้อมูลสำหรับหาปริมาณความชื้น

2.1 การทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน

หมายเลขตัวอย่าง	1	2	3	4	5
หมายเลขกระป๋องเก็บตัวอย่างดิน	23	54	21	18	13
มวลของกระป๋องรวมดินเปียก (กรัม)	186.17	186.21	173.18	171.32	153.17
มวลของกระป๋องรวมดินแห้ง (กรัม)	175.32	173.15	159.58	154.98	137.32
มวลของกระป๋อง (กรัม)	28.16	41.84	43.06	35.93	35.83

2.2 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

หมายเลขตัวอย่าง	1	2	3	4	5
หมายเลขกระป๋องเก็บตัวอย่างดิน	12	41	14	23	16
มวลของกระป๋องรวมดินเปียก (กรัม)	254.72	262.19	254.65	307.91	173.18
มวลของกระป๋องรวมดินแห้ง (กรัม)	247.90	251.82	240.69	284.81	159.78
มวลของกระป๋อง (กรัม)	41.83	43.08	41.54	25.15	43.05

3. ข้อมูลสำหรับหาความหนาแน่นแห้ง

3.1 การทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน

ปริมาณความชื้นสมมติ (ร้อยละ)	7	9	11	13	15
มวลของดินบดอัดรวมโมล (กรัม)	5510	5582	5658	5625	5596
มวลของโมล (กรัม)	3625	3625	3625	3625	3625

3.2 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

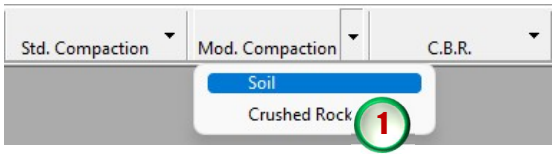
ปริมาณความชื้นสมมติ (ร้อยละ)	3	5	7	9	11
มวลของดินบดอัดรวมโมล (กรัม)	9780	10180	10395	10337	10052
มวลของโมล (กรัม)	5475	5475	5475	5475	5475

ข้อมูลที่แสดงข้างต้นเป็นข้อมูลของตัวอย่างดินชนิดเดียวกัน ซึ่งได้ทดสอบทั้งการบดอัดแบบมาตรฐานและการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ดังตัวอย่างที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

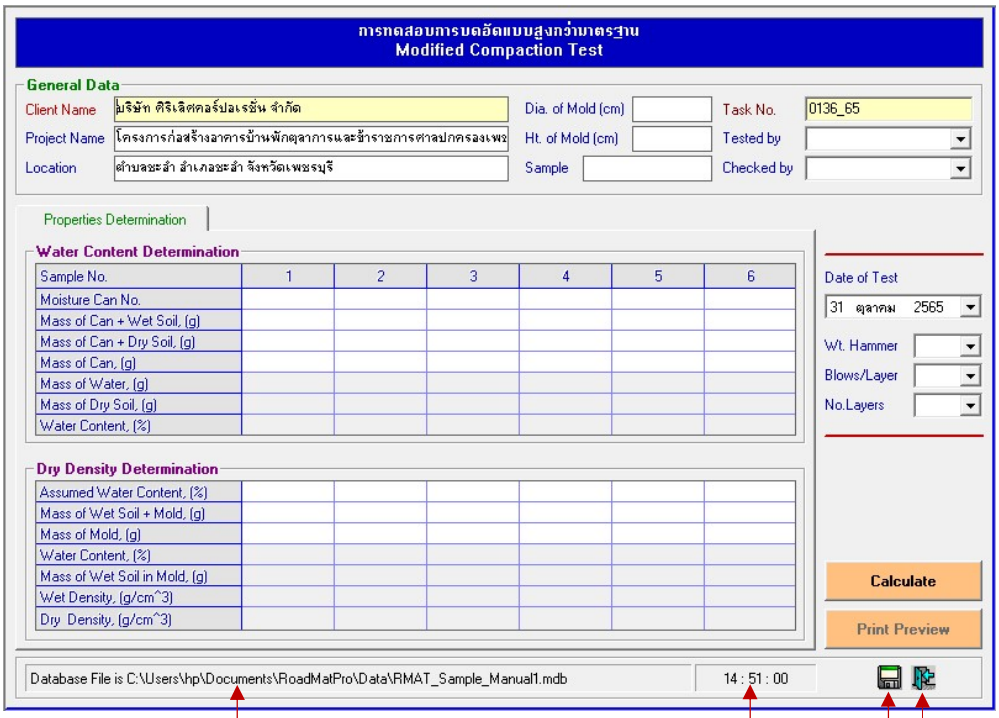
การป้อนข้อมูล

หลังจากสร้างไฟล์ข้อมูลแล้ว การใช้งานโปรแกรมจะเริ่มต้นจากการป้อนข้อมูล มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เลือกเมนูว่าจะวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานหรือแบบสูงกว่ามาตรฐาน แล้วจึงเลือก



ชนิดวัสดุว่าเป็น Soil (ดิน) หรือ Crushed Rock (หินคลุก) ในที่นี้เลือกวิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ชนิดวัสดุเป็น Soil โดยใช้เมาส์คลิกที่ Mod. Compaction เมนู Soil จะปรากฏหน้าจอ ซึ่งจะดึงข้อมูลชื่อบริษัทหรือผู้ว่าจ้าง เลขที่งาน ชื่อโครงการ และสถานที่ตั้งโครงการ จากฐานข้อมูลที่ได้ป้อนไว้แล้วตอนสร้างไฟล์ใหม่ ดังแสดงในรูปข้างล่าง ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้โดยการคลิกและพิมพ์ข้อมูลใหม่ในช่องที่ต้องการ แล้วกดปุ่ม Enter เพื่อเลื่อนไปยังช่องถัดไป

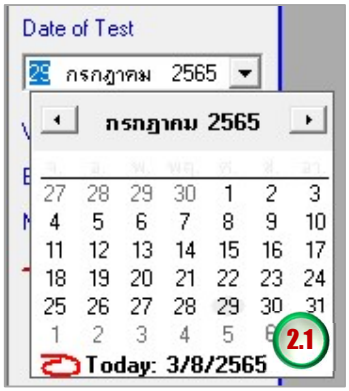


สำหรับการป้อนข้อมูลต่าง ๆ จะมีขั้นตอนการดำเนินการเหมือนกันทั้งการบดอัดแบบมาตรฐานและแบบสูงกว่ามาตรฐาน ซึ่งจะกล่าวในข้อต่อไป

2. ป้อนข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

- ตัวอย่างทดสอบ (Sample) ป้อนชื่อตัวอย่าง เช่น ดินลูกรัง Silty Sand เป็นต้น

- วันที่ทดสอบ (Date of Test)



โปรแกรมจะแสดงวันที่ปัจจุบัน
สามารถเลือกเปลี่ยนวันที่ได้

- ผู้ทดสอบ (Tested by)

สามารถคลิกเลือกจากรายการ
หรือพิมพ์ชื่อลงไปได้เลย

- ผู้ตรวจสอบ (Checked by)

สามารถคลิกเลือกจากรายการ
หรือพิมพ์ชื่อลงไปได้เลย

3. ป้อนข้อมูลอุปกรณ์และการทดสอบดังนี้

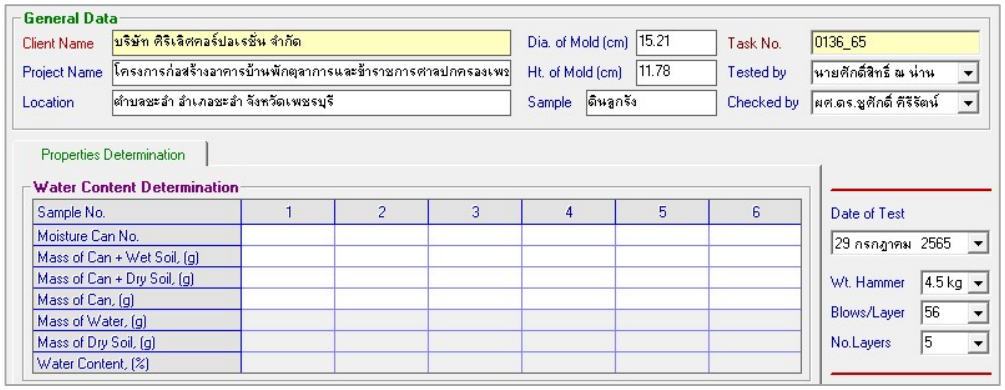
- เส้นผ่านศูนย์กลางของโมล (Dia. of Mold) หน่วยเป็นเซนติเมตร
- ความสูงของโมล (Ht. of Mold) หน่วยเป็นเซนติเมตร
- มวลของของค้อน (Wt. Hammer)

คลิกเลือก

- จำนวนครั้งบดอัดต่อชั้น (Blows/Layer)

- จำนวนชั้นบดอัด (No.Layer)

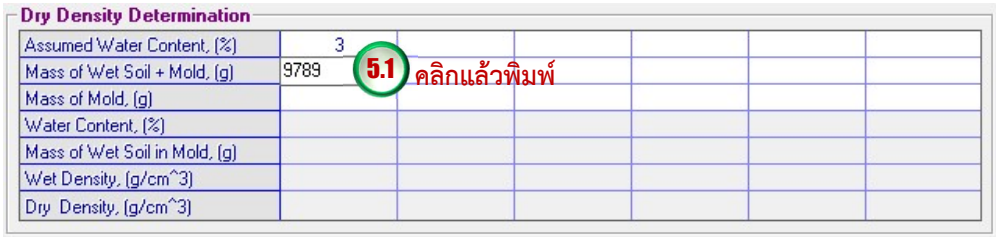
เมื่อป้อนข้อมูลเบื้องต้น ข้อมูลอุปกรณ์และการทดสอบเสร็จแล้วจะได้ดังรูปด้านล่าง และเมื่อคลิกปุ่มบันทึก ข้อมูลจะถูกจัดเก็บไว้ในไฟล์ทันที



4. ป้อนข้อมูลเพื่อหาปริมาณความชื้น โดยการใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้

เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว

5. ป้อนข้อมูลสำหรับหาความหนาแน่นแห้ง โดยการใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้



เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน และเมื่อป้อนข้อมูลจนถึงมวลของโมลในคอมลัมน์ถัดไปสามารถพิมพ์เครื่องหมาย "/" ดังรูปข้างล่าง โปรแกรมจะคัดลอกมวลของโมลในคอลัมน์ก่อนหน้าหลังจากกดปุ่ม Enter แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว

การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลสามารถดำเนินการได้ตลอดการใช้งาน โดยคลิกปุ่มบันทึก ซึ่งข้อมูลจะถูกจัดเก็บในไฟล์ฐานข้อมูลเฉพาะข้อมูลที่ป้อนเท่านั้น ผู้ใช้งานควรบันทึกข้อมูลก่อนการประมวลผลทุกครั้ง เนื่องจากจะทำให้สามารถเรียกดูข้อมูลการทดสอบย้อนหลังได้

การคำนวณ

การคำนวณผลการทดสอบโดยโปรแกรมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การหาปริมาณความชื้น (Water Content, w)

$$w = \frac{M_{CW} - M_{CD}}{M_{CD} - M_C} \times 100$$

เมื่อ M_{CW} = มวลของกระป๋องรวมดินเปียก (กรัม)

M_{CD} = มวลของกระป๋องรวมดินแห้ง (กรัม)

M_C = มวลของกระป๋อง (กรัม)

การหาความหนาแน่นเปียก (Wet Density, ρ)

$$\rho = \frac{M}{V}$$

เมื่อ M = มวลของดินบดอัด (กรัม)

V = ปริมาตรของดินบดอัด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

$$= H * \frac{\pi * D^2}{4}$$

H = ความสูงของโมล (เซนติเมตร)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของโมล (เซนติเมตร)

การหาความหนาแน่นแห้ง (Dry Density, ρ_d)

$$\rho_d = \frac{\rho}{(1 + w / 100)}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นเปียก (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

w = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

การประมวลผลของโปรแกรม

เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้วให้คลิกปุ่ม **Calculate** โปรแกรมจะประมวลผลการทดสอบและแสดงผลการคำนวณในตารางที่ป้อนข้อมูลไว้แล้วที่มีพื้นหลังสีเทา พร้อมทั้งแสดงแท็บ Compaction Parameters Determination ดังนี้

Properties Determination | **Compaction Parameters Determination**

Water Content Determination

Sample No.	1	2	3	4	5	6
Moisture Can No.	12	41	14	23	13	
Mass of Can + Wet Soil, (g)	254.72	262.19	254.65	307.91	173.18	
Mass of Can + Dry Soil, (g)	247.98	251.32	240.69	284.81	159.78	
Mass of Can, (g)	41.83	43.08	41.54	25.15	43.05	
Mass of Water, (g)	6.74	10.87	13.96	23.10	13.40	
Mass of Dry Soil, (g)	206.15	208.24	199.15	259.66	116.73	
Water Content, (%)	3.27	5.22	7.01	8.90	11.48	

Dry Density Determination

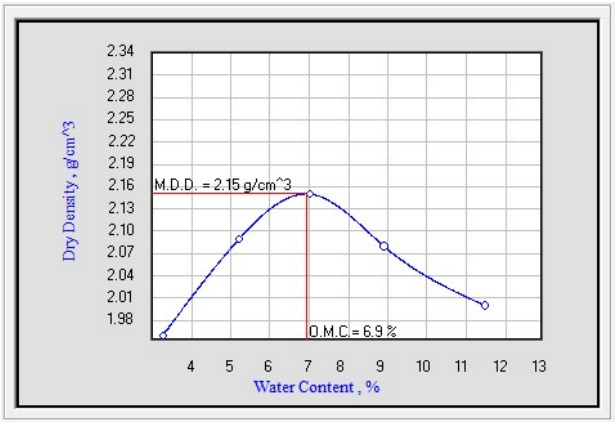
Assumed Water Content, (%)	3	5	7	9	11	
Mass of Wet Soil + Mold, (g)	9789	10180	10397	10337	10252	
Mass of Mold, (g)	5475	5475	5475	5475	5475	
Water Content, (%)	3.27	5.22	7.01	8.90	11.48	
Mass of Wet Soil in Mold, (g)	4314.00	4705.00	4922.00	4862.00	4777.00	
Wet Density, (g/cm^3)	2.02	2.20	2.30	2.27	2.23	
Dry Density, (g/cm^3)	1.96	2.09	2.15	2.08	2.00	

การเขียนเส้นโค้งการบดอัดและหาค่าพารามิเตอร์การบดอัด

เมื่อคลิกแท็บ Compaction Parameters Determination โปรแกรมจะนำค่าปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้งที่คำนวณได้มาใส่ในตาราง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการเขียนเส้นโค้งการบดอัด ให้กดปุ่ม **Compaction Curve** โปรแกรมจะนำข้อมูลในตารางไปเขียนเส้นโค้งการบดอัด และแสดงค่าพารามิเตอร์การบดอัด (OMC และ MDD) ดังรูปข้างล่าง หลังจากนั้นให้คลิกปุ่มบันทึกข้อมูล

wc (%)	Dry Density (g/cm^3)
3.27	1.96
5.22	2.09
7.01	2.15
8.90	2.08
11.48	2.00

OMC %
MDD g/cm^3



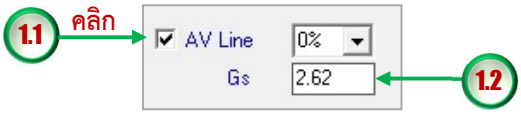
wc (%)	Dry Density (g/cm^3)
3.27	1.96
5.22	2.09
7.01	2.15
8.90	2.08
11.48	2.00

OMC **6.9** %
MDD **2.15** g/cm^3

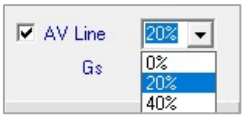
การเขียนเส้นร้อยละอากาศ

เมื่อต้องการให้โปรแกรมแสดงเส้นร้อยละอากาศให้ดำเนินการดังนี้

1. คลิกที่กล่องสี่เหลี่ยมหน้าข้อความ AV Line ให้ปรากฏเครื่องหมายถูก แล้วโปรแกรมจะดึงข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะ (G_S) จากไฟล์ฐานข้อมูลในกรณีที่ได้มีการประมวลผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะมาแล้วมาแสดงดังรูปข้างล่าง สำหรับกรณีที่ไม่ได้ประมวลผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะมาก่อนสามารถป้อนค่าความถ่วงจำเพาะได้โดยการคลิกในช่องแสดงข้อมูล G_S



2. โปรแกรมจะกำหนดค่ามาให้เป็น 0% (ปริมาณอากาศร้อยละศูนย์ หรืออิ่มตัวเต็มที่) แต่สามารถเลือกร้อยละปริมาณอากาศจากรายการหรือพิมพ์ตัวเลขร้อยละอากาศได้ดังนี้

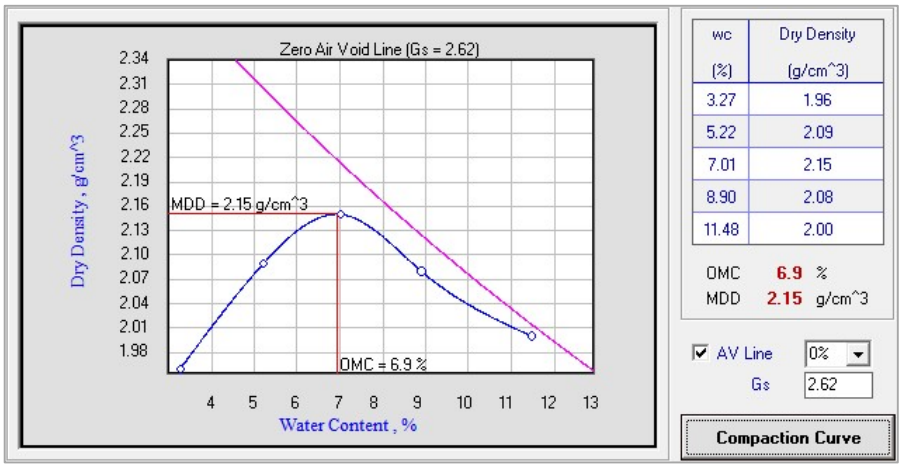


เลือกจากรายการ

พิมพ์ร้อยละอากาศ

ในที่นี้จะใช้ค่าที่โปรแกรมกำหนดให้เป็น 0%

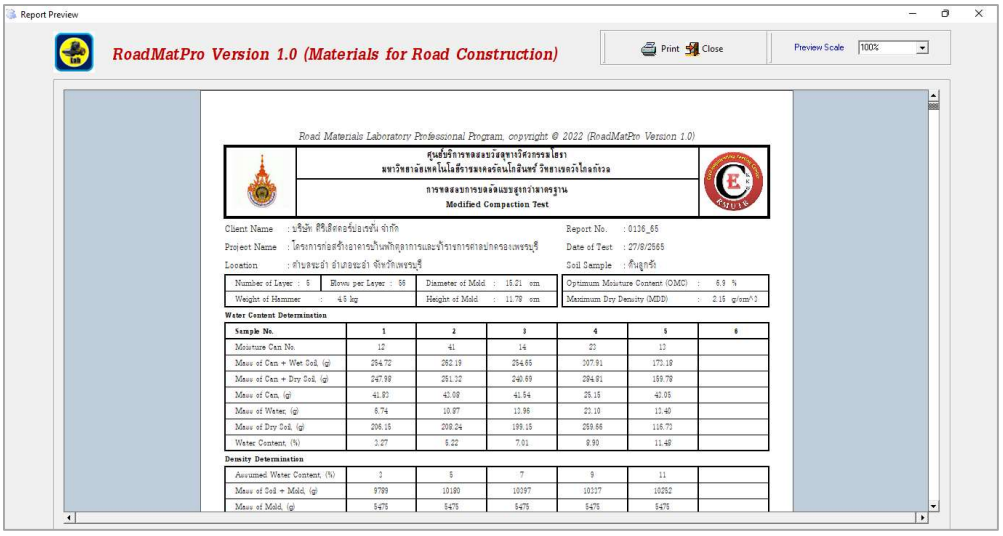
3. กดปุ่ม **Compaction Curve** แล้วโปรแกรมจะเขียนเส้นโค้งการบดอัดพร้อมทั้งเขียนเส้นร้อยละปริมาณอากาศ (0%, Zero Air Void Line หรือ Fully Saturated Line) และแสดงค่าพารามิเตอร์การบดอัด (OMC และ MDD) ดังรูปข้างล่าง



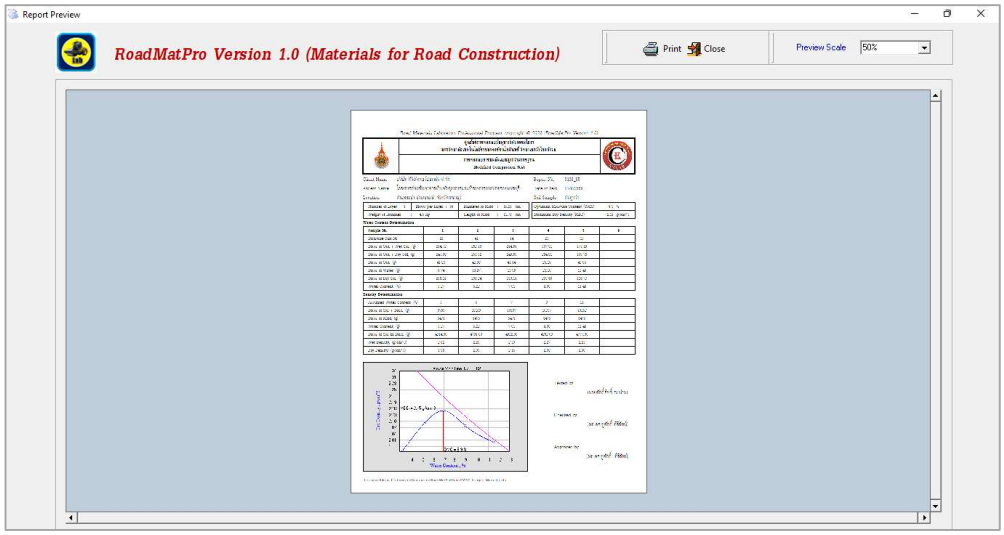
การรายงานผลทางเครื่องพิมพ์

เมื่อเขียนเส้นโค้งการบดอัดแล้ว สามารถรายงานผลทางเครื่องพิมพ์ได้โดยมีขั้นตอนดังนี้

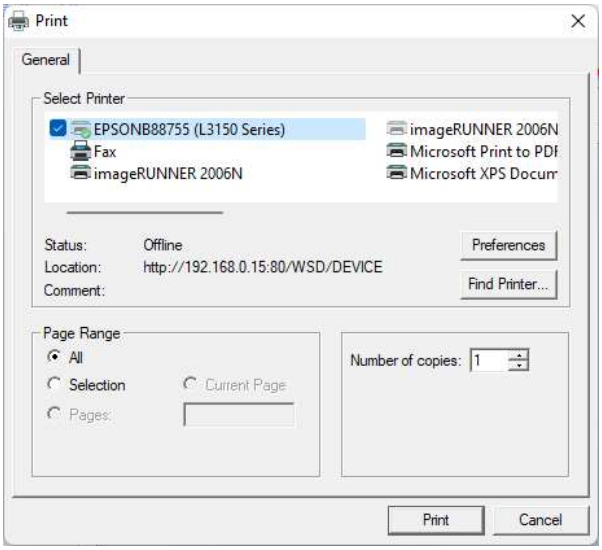
1. คลิกปุ่ม **Print Preview** หน้าจอจะแสดงภาพตัวอย่างก่อนพิมพ์ดังรูปข้างล่าง



สามารถดูภาพตัวอย่างก่อนพิมพ์ที่ขนาดร้อยละ 50 และร้อยละ 75 ได้ ซึ่งผลจากการเลือกให้แสดงขนาดที่ร้อยละ 50 Preview Scale 50% ดังแสดงในรูปข้างล่าง

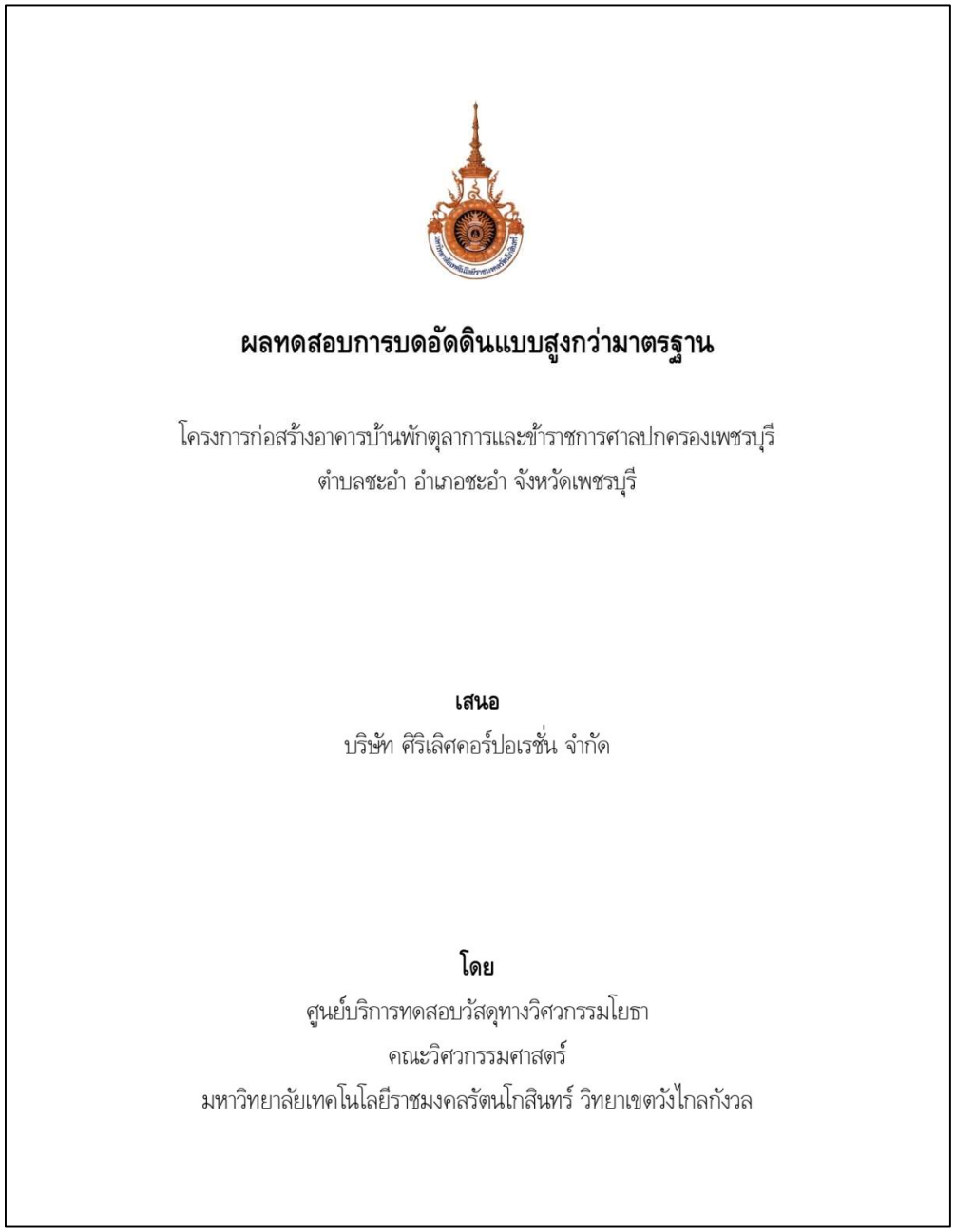


2. คลิกปุ่ม Print เพื่อสั่งให้พิมพ์รายงานผลการทดสอบออกทางเครื่องพิมพ์ โดยสามารถเลือกเครื่องพิมพ์ได้ตามต้องการดังรูปข้างล่าง แล้วคลิกปุ่มพิมพ์ หากต้องการปิดหน้าจอให้คลิกปุ่ม Close



3. ผลจากการสั่งพิมพ์จะแสดงดังตัวอย่างต่อไปนี้

3.1 ใบปกรายงานผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน



ผลทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน

โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

เสนอ
บริษัท ศิริเลิศคอร์ปอเรชั่น จำกัด

โดย
ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

3.2 ตัวอย่างรายงานผลการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (เขียนเส้นโค้งการบดอัดพร้อมเส้นอิ่มตัวเต็มที่)

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน
Modified Compaction Test

Client Name : บริษัท ศิริเลิศดอร์ปอเรชั่น จำกัด
Report No. : 0136_65
Project Name : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
Date of Test : 27/8/2565
Location : ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี
Soil Sample : ดินลูกรัง

Number of Layer	5	Blows per Layer	56	Diameter of Mold	15.21 cm
Weight of Hammer	4.5 kg			Height of Mold	11.78 cm

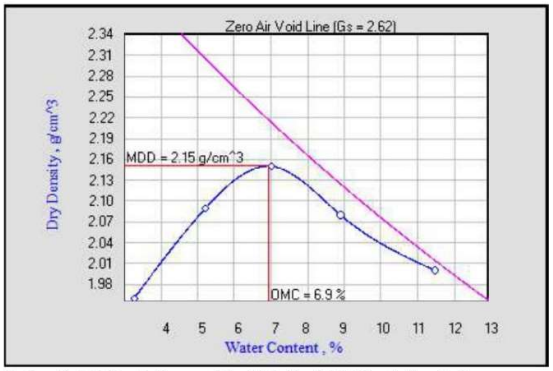
Optimum Moisture Content (OMC)	6.9 %
Maximum Dry Density (MDD)	2.15 g/cm^3

Water Content Determination

Sample No.	1	2	3	4	5	6
Moisture Can No.	12	41	14	23	13	
Mass of Can + Wet Soil, (g)	254.72	262.19	254.65	307.91	173.18	
Mass of Can + Dry Soil, (g)	247.98	251.32	240.69	284.81	159.78	
Mass of Can, (g)	41.83	43.08	41.54	25.15	43.05	
Mass of Water, (g)	6.74	10.87	13.96	23.10	13.40	
Mass of Dry Soil, (g)	206.15	208.24	199.15	259.66	116.73	
Water Content, (%)	3.27	5.22	7.01	8.90	11.48	

Density Determination

Assumed Water Content, (%)	3	5	7	9	11	
Mass of Soil + Mold, (g)	9789	10180	10397	10337	10252	
Mass of Mold, (g)	5475	5475	5475	5475	5475	
Water Content, (g)	3.27	5.22	7.01	8.90	11.48	
Mass of Soil in Mold, (g)	4314.00	4705.00	4922.00	4862.00	4777.00	
Wet Density, (g/cm^3)	2.02	2.20	2.30	2.27	2.23	
Dry Density, (g/cm^3)	1.96	2.09	2.15	2.08	2.00	



Tested by .....
(นายศักดิ์สิทธิ์ ณ น่าน)

Checked by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Approved by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\Data\RMAT_Sample_Manual.mdb

3.3 ตัวอย่างรายงานผลการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (เขียนเฉพาะเส้นโค้งการบดอัด)

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน
Modified Compaction Test

Client Name : บริษัท ศิริเลิศคอร์ปอเรชั่น จำกัด
Project Name : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
Location : ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

Report No. : 0136_65
Date of Test : 27/8/2565
Soil Sample : ดินลูกรัง

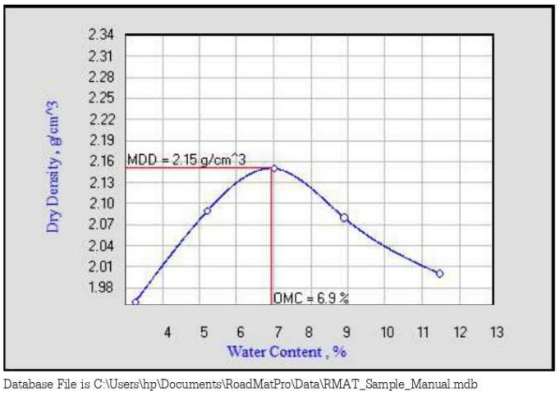
Number of Layer : 5	Blows per Layer : 56	Diameter of Mold : 15.21 cm	Optimum Moisture Content (OMC) : 6.9 %
Weight of Hammer : 4.5 kg		Height of Mold : 11.78 cm	Maximum Dry Density (MDD) : 2.15 g/cm^3

Water Content Determination

Sample No.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Moisture Can No.	12	41	14	23	13	
Mass of Can + Wet Soil, (g)	254.72	262.19	254.65	307.91	173.18	
Mass of Can + Dry Soil, (g)	247.98	251.32	240.69	284.81	159.78	
Mass of Can, (g)	41.83	43.08	41.54	25.15	43.05	
Mass of Water, (g)	6.74	10.87	13.96	23.10	13.40	
Mass of Dry Soil, (g)	206.15	208.24	199.15	259.66	116.73	
Water Content, (%)	3.27	5.22	7.01	8.90	11.48	

Density Determination

Assumed Water Content, (%)	3	5	7	9	11	
Mass of Soil + Mold, (g)	9789	10180	10397	10337	10252	
Mass of Mold, (g)	5475	5475	5475	5475	5475	
Water Content, (g)	3.27	5.22	7.01	8.90	11.48	
Mass of Soil in Mold, (g)	4314.00	4705.00	4922.00	4862.00	4777.00	
Wet Density, (g/cm^3)	2.02	2.20	2.30	2.27	2.23	
Dry Density, (g/cm^3)	1.96	2.09	2.15	2.08	2.00	



Tested by .....
(นายศักดิ์สิทธิ์ ณ น่าน)

Checked by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Approved by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\Data\RMAT_Sample_Manual.mdb

3.4 ใบปกรายงานผลการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน

ผลทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐาน

โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

เสนอ
บริษัท ศิริเลิศคอร์ปอเรชั่น จำกัด

โดย
ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

3.5 ตัวอย่างรายงานผลการบดอัดแบบมาตรฐาน (เขียนเส้นโค้งการบดอัดพร้อมเส้นอิ่มตัวเต็มที่)

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน
Standard Compaction Test

Client Name : บริษัท ศิริเลิศคอร์ปอเรชั่น จำกัด
Project Name : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
Location : ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี
Report No. : 0136_65
Date of Test : 28/8/2565
Soil Sample : ดินลูกรัง

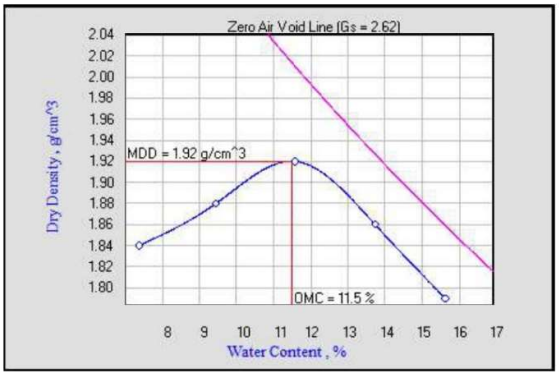
Number of Layer : 3	Blows per Layer : 25	Diameter of Mold : 10.15 cm	Optimum Moisture Content (OMC) : 11.5 %
Weight of Hammer : 2.5 kg		Height of Mold : 11.74 cm	Maximum Dry Density (MDD) : 1.92 g/cm^3

Water Content Determination

Sample No.	1	2	3	4	5	6
Moisture Can No.	23	54	21	18	13	
Mass of Can + Wet Soil, (g)	186.17	186.21	173.18	171.32	153.17	
Mass of Can + Dry Soil, (g)	175.32	173.75	159.68	154.98	137.32	
Mass of Can, (g)	28.16	41.84	43.06	35.93	35.83	
Mass of Water, (g)	10.85	12.46	13.50	16.34	15.85	
Mass of Dry Soil, (g)	147.16	131.91	116.62	119.05	101.49	
Water Content, (%)	7.37	9.45	11.58	13.73	15.62	

Density Determination

Assumed Water Content, (%)	7	9	11	13	15	
Mass of Soil + Mold, (g)	5510	5582	5658	5625	5596	
Mass of Mold, (g)	3625	3625	3625	3625	3625	
Water Content, (g)	7.37	9.45	11.58	13.73	15.62	
Mass of Soil in Mold, (g)	1885.00	1957.00	2033.00	2000.00	1971.00	
Wet Density, (g/cm^3)	1.98	2.06	2.14	2.11	2.07	
Dry Density, (g/cm^3)	1.84	1.88	1.92	1.86	1.79	



Tested by .....
(นายศักดิ์สิทธิ์ ณ น่าน)

Checked by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Approved by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\Data\RMAT_Sample_Manual.mdb

3.6 ตัวอย่างรายงานผลการบดอัดแบบมาตรฐาน (เขียนเฉพาะเส้นโค้งการบดอัด)

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน
Standard Compaction Test

Client Name : บริษัท ศิริเลิศดอร์ปอเรชั่น จำกัด
Project Name : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
Location : ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

Report No. : 0136_65
Date of Test : 28/8/2565
Soil Sample : ดินลูกรัง

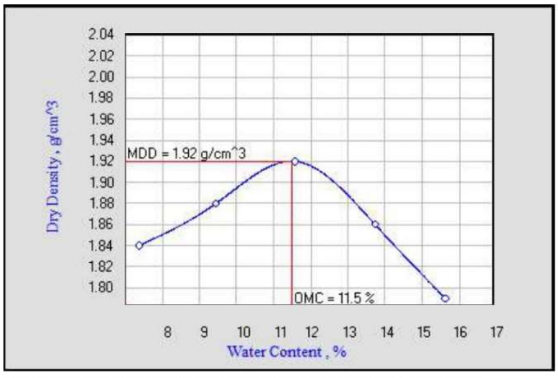
Number of Layer : 3	Blows per Layer : 25	Diameter of Mold : 10.15 cm	Optimum Moisture Content (OMC) : 11.5 %
Weight of Hammer : 2.5 kg		Height of Mold : 11.74 cm	Maximum Dry Density (MDD) : 1.92 g/cm^3

Water Content Determination

Sample No.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Moisture Can No.	23	54	21	18	13	
Mass of Can + Wet Soil, (g)	186.17	186.21	173.18	171.32	153.17	
Mass of Can + Dry Soil, (g)	175.32	173.75	159.68	154.98	137.32	
Mass of Can, (g)	28.16	41.84	43.06	35.93	35.83	
Mass of Water, (g)	10.85	12.46	13.50	16.34	15.85	
Mass of Dry Soil, (g)	147.16	131.91	116.62	119.05	101.49	
Water Content, (%)	7.37	9.45	11.58	13.73	15.62	

Density Determination

Assumed Water Content, (%)	7	9	11	13	15	
Mass of Soil + Mold, (g)	5510	5582	5658	5625	5596	
Mass of Mold, (g)	3625	3625	3625	3625	3625	
Water Content, (g)	7.37	9.45	11.58	13.73	15.62	
Mass of Soil in Mold, (g)	1885.00	1957.00	2033.00	2000.00	1971.00	
Wet Density, (g/cm^3)	1.98	2.06	2.14	2.11	2.07	
Dry Density, (g/cm^3)	1.84	1.88	1.92	1.86	1.79	



Tested by .....
(นายศักดิ์สิทธิ์ ณ น่าน)

Checked by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Approved by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\Data\RMAT_Sample_Manual.mdb

บทที่ 7

การหาค่า ซี.บี.อาร์.

California Bearing Ratio: CBR

บทนำ

ค่าซี.บี.อาร์. (CBR) ย่อมาจาก แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (California Bearing Ratio) เป็นค่าที่แสดงถึงกำลังรับน้ำหนักของดินบดอัดแน่นตามวิธีการบดอัดแบบมาตรฐานหรือการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน เมื่อดินมีความชื้นเท่ากับปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (OMC) ที่ได้จากการทดสอบบดอัดดินมีหน่วยเป็นร้อยละ สามารถหาได้จากอัตราส่วนของหน่วยแรงกดทดสอบเมื่อตัวอย่างดินโดนกดด้วยแท่งเหล็กกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที ที่ระยะจม 0.1 นิ้ว เปรียบเทียบกับหน่วยแรงมาตรฐานที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างหินคลุกซึ่งเท่ากับ 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่กำหนดให้เป็นค่ามาตรฐานโดยหน่วยงานทางหลวงแห่งรัฐแคลิฟอร์เนีย สามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ดังนี้

$$\text{ค่าซี.บี.อาร์. (ร้อยละ)} = \frac{\text{หน่วยแรงกดทดสอบ}}{\text{หน่วยแรงมาตรฐาน}} \times 100$$

สำหรับกรณีที่ค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจมของแท่งกด 0.2 นิ้ว ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงกดทดสอบที่ระยะจม 0.2 นิ้ว เปรียบเทียบกับหน่วยแรงมาตรฐานที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างหินคลุกซึ่งเท่ากับ 1500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หากมีค่ามากกว่าค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจม 0.1 นิ้ว จะต้องดำเนินการทดสอบใหม่ แต่หากดำเนินการทดสอบใหม่แล้ว ค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจม 0.2 นิ้ว ยังคงมากกว่าค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจม 0.1 นิ้ว ก็ให้ใช้ค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจม 0.2 นิ้ว ได้

ค่าซี.บี.อาร์.จะถูกนำไปใช้เพื่อคัดเลือกวัสดุสำหรับงานทางให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานชั้นทาง โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของค่าซี.บี.อาร์.และการนำไปใช้งาน (Bowles, 2001)

ค่าซี.บี.อาร์. (ร้อยละ)	คุณสมบัติที่เหมาะสมทางวิศวกรรม	การนำไปใช้งาน
0 – 3	แย่มาก	ชั้นดินถม/ดินคันทาง
3 – 7	แย่ถึงปานกลาง	ชั้นดินถม/ดินคันทาง
7 – 20	ปานกลาง	ชั้นรองพื้นทาง
20 – 50	ดี	ชั้นรองพื้นทาง/ชั้นพื้นทาง
50 – 80	ดีมาก	ชั้นพื้นทาง
>80	ดีเยี่ยม	ชั้นพื้นทาง

การทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมสามารถประมวลผลได้ทั้งการทดสอบซี.บี.อาร์.แบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked CBR) และการทดสอบซี.บี.อาร์.แบบแช่น้ำ (Soaked CBR) โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 1

รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของโปแกรม อธิบายได้ดังต่อไปนี้

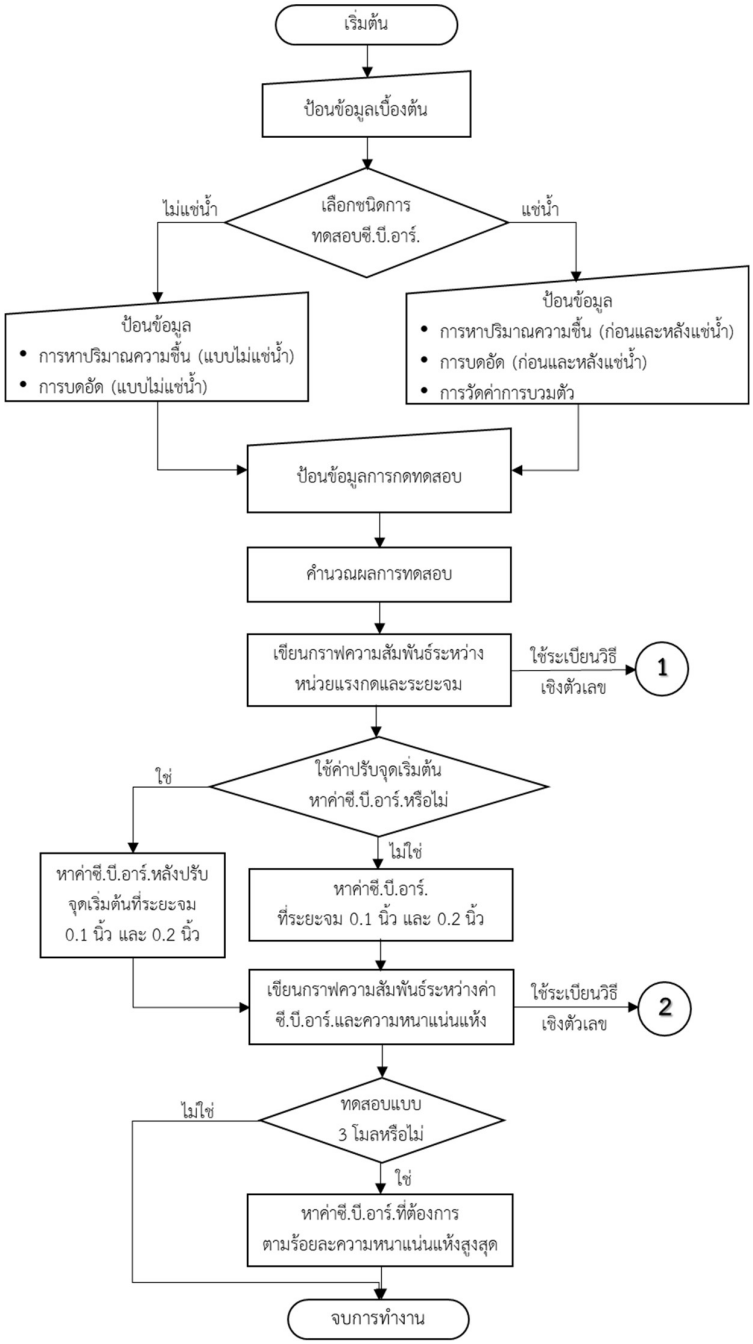
1. การป้อนข้อมูลเบื้องต้น เป็นการป้อนข้อมูลทางแป้นพิมพ์ ได้แก่ ชื่อบริษัทหรือผู้ว่าจ้าง หมายเลขรับงาน ชื่อโครงการ สถานที่ตั้งโครงการ ชนิดตัวอย่าง วันที่ทดสอบ ชื่อผู้ทดสอบ และชื่อผู้ตรวจสอบ
2. การป้อนข้อมูลทางแป้นพิมพ์สำหรับการทดสอบตามชนิดของการทดสอบ

2.1 การทดสอบซี.บี.อาร์.แบบไม่แช่น้ำ ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

2.1.1 ข้อมูลการหาปริมาณความชื้น ได้แก่ หมายเลขกระป๋อง มวลกระป๋องรวมดินเปียก มวลกระป๋องรวมดินแห้ง และมวลกระป๋อง

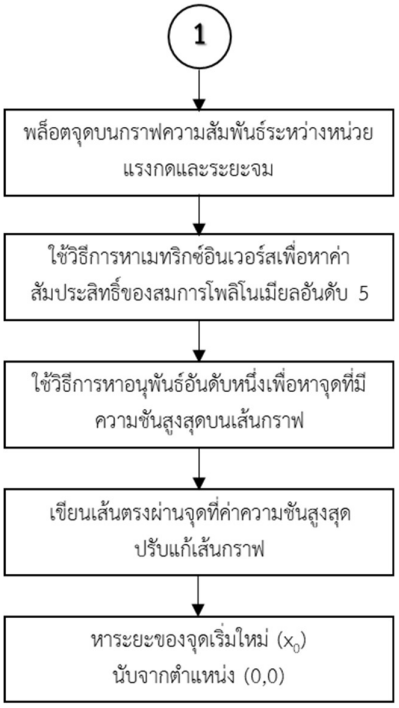
2.1.2 ข้อมูลการบดอัด ได้แก่ จำนวนครั้งต่อชั้นการบดอัด ขนาดของตัวอย่าง ความสูงของตัวอย่าง มวลโมลรวมดินบดอัดแล้ว และมวลโมล

2.2 การทดสอบซี.บี.อาร์.แบบแช่น้ำ เป็นการทดสอบโดยจำลองกรณีน้ำท่วมถนนหรือมีฝนตก โดยต้องนำตัวอย่างไปแช่น้ำ 4 วันหรือจนตัวอย่างหยุดการบวมตัว ประกอบด้วยข้อมูลการหาค่าปริมาณความชื้นและข้อมูลการบดอัดเหมือนกับการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ ซึ่งจะต้องป้อนข้อมูลทั้งก่อนการแช่น้ำและหลังการแช่น้ำ แต่จะมีข้อมูลการวัดค่าการบวมตัวที่ต้องป้อนเพิ่มเติม ได้แก่ วันที่บันทึกข้อมูล เวลาบันทึกข้อมูล และค่าการบวมตัว



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหาค่าซี.บี.อาร์.

3. การป้อนข้อมูลการกดทดสอบตัวอย่าง เป็นการป้อนข้อมูลผลการทดสอบการกดตัวอย่างทางแป้นพิมพ์ ประกอบด้วย ค่าคงที่วงแหวนวัดแรง มวลกดทับบนตัวอย่าง ระยะจมของแท่งกด และจำนวนช่องที่เพิ่มขึ้นตามแรงกดของวงแหวนวัดแรง
4. การคำนวณผลการทดสอบ เป็นการประมวลผลข้อมูลการทดสอบที่ป้อนไว้แล้วเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น ความหนาแน่นแห้ง ค่าร้อยละการบวมตัว และหน่วยแรงกระทำต่อตัวอย่างตามระยะการจมของแท่งกด
5. การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจม (Load-Penetration Curve) ในขั้นตอนนี้สามารถแสดงเป็นขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 2 มีรายละเอียดดังนี้



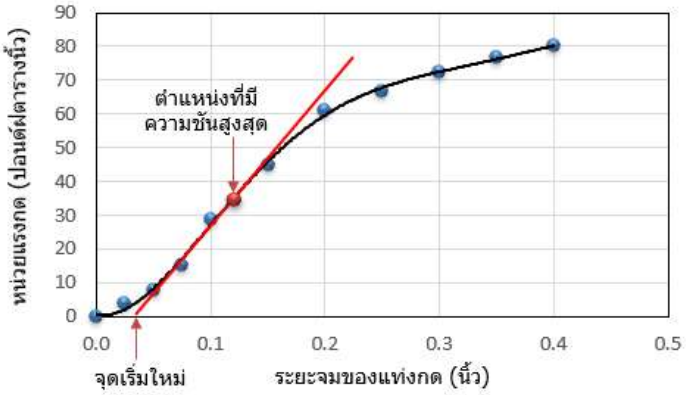
รูปที่ 2 ขั้นตอนการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจมของแท่งกด

5.1 นำข้อมูลระยะจมของแท่งกดและหน่วยแรงกระทำต่อตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณใน ข้อ 4 มาพล็อตจุดบนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจม

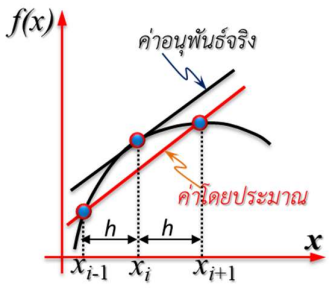
5.2 ใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเรื่องการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting) หาสมการโพลิโนเมียลอันดับ 5 ด้วยวิธี Regression through Origin ($y = a_5x^5+a_4x^4+a_3x^3+a_2x^2+a_1x$) โดยใช้การแก้ระบบเมทริกซ์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ a_5, a_4, a_3, a_2 และ a_1 ด้วยวิธีการหาเมทริกซ์อินเวอร์ส (Inverse Matrix) และนำสมการมาเขียนกราฟเส้น

5.3 กรณีเส้นกราฟมีความโค้งในช่วงแรกและส่วนของเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิดจะต้องทำการปรับแก้ (Correct) ดังรูปที่ 3 โดยการลากเส้นตรงให้สัมผัสกับเส้นกราฟผ่านตำแหน่งที่มีค่าความชันสูงสุดมาตัดกับแกนนอน (Head, 1982) ซึ่งจุดตัดนั้นจะเรียกว่าจุดเริ่มใหม่ (New Origin) สามารถหาได้โดยการหาตำแหน่งที่ค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งของฟังก์ชันมีค่ามากที่สุด ในที่นี้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference Method) วิธีผลต่างศูนย์กลาง (Central Divided Difference) ดังรูปที่ 4 ในการหาค่าความชันโดยกำหนดช่วง h เท่ากับ 0.001 นิ้ว ซึ่งมีสมการคือ

$$f'(x_i) = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_{i-1})}{2h}$$

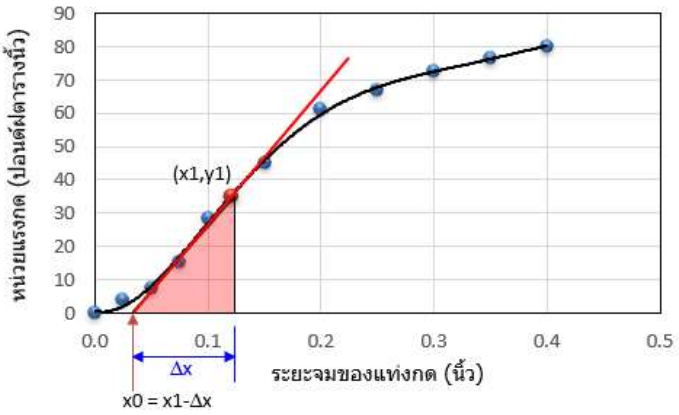


รูปที่ 3 การปรับแก้ความโค้งในช่วงแรกและส่วนของเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิด



รูปที่ 4 ระเบียบวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์วิธีผลต่างศูนย์กลาง (ชูศักดิ์, 2565)

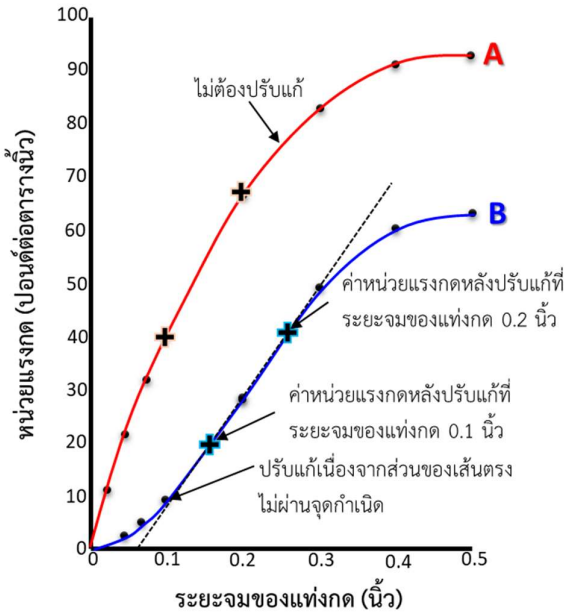
5.4 หาระยะของจุดเริ่มใหม่นับจากตำแหน่งจุด (0, 0) ของเส้นกราฟโดยหาจากความสัมพันธ์ระหว่างด้านและความชันสูงสุด ($\Delta x = y_1$/ความชันสูงสุด) เมื่อได้ค่า Δx แล้วจะสามารถหาจุดเริ่มใหม่ (x_0) ได้ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การคำนวณหาค่า x_0

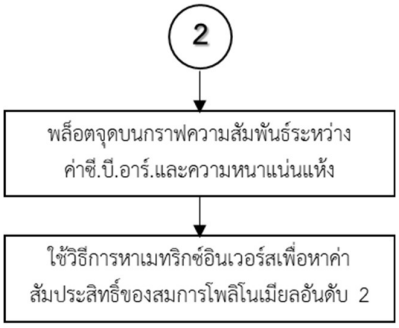
6. การคำนวณหาค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจมของแท่งกด 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว โดยสามารถพิจารณาจากลักษณะเส้นกราฟตามคำแนะนำของมาตรฐาน ASTM D 1883 ดังรูปที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากราฟเส้น A ไม่ต้องปรับแก้สามารถใช้ค่าหน่วยแรงกดที่ระยะจมของแท่งกด 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว ที่ได้จากการทดสอบได้เลย ส่วนกราฟเส้น B เนื่องจากกราฟช่วงแรกส่วนของเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิด

อาจเกิดจากผิวหน้าของตัวอย่างบดอัดถูกรบกวน หรือตัวอย่างถูกบดอัดไม่ดี หรือแท่งกดไม่ได้แตะผิวตัวอย่างก่อนทดสอบ ซึ่งต้องปรับแก้เพื่อหาจุดเริ่มใหม่ก่อนหาค่าหน่วยแรงกดที่ระยะจมของแท่งกด 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว สำหรับกรณีที่ไม่ต้องการหาค่าซี.บี.อาร์.ตามร้อยละของความหนาแน่นแห้งสูงสุด เช่น ค่าซี.บี.อาร์.ที่ร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสุด สามารถใช้ค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจมของแท่งกดที่ 0.1 นิ้ว หรือ 0.2 นิ้วได้เลย



รูปที่ 6 การปรับแก้โค้งเส้นกราฟ

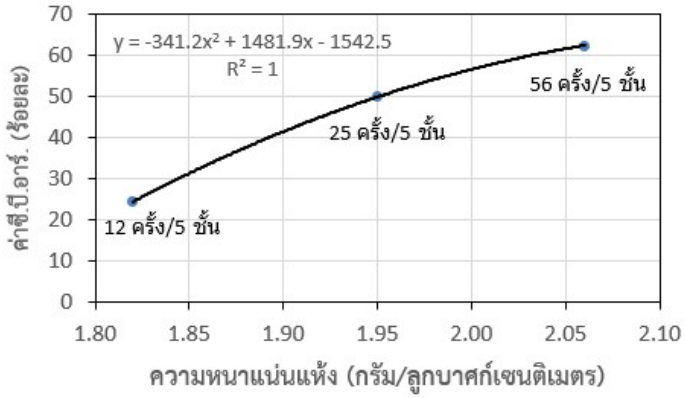
7. การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าซี.บี.อาร์.และความหนาแน่นแห้ง จะใช้ในกรณีที่ต้องการหาค่าซี.บี.อาร์.ตามร้อยละของความหนาแน่นแห้งสูงสุด ซึ่งต้องทดสอบด้วยพลังงานบดอัดที่แตกต่างกัน 3 ค่า โดยสามารถใช้จำนวนครั้งต่อชั้นในการบดอัดเท่ากับ 10, 25 และ 56 (ASTM D1883) หรือ 12, 25 และ 56 (ทล.-ท 109) ถ้าเป็นการเตรียมตัวอย่างการบดอัดแบบมาตรฐานจะใช้จำนวน 3 ชั้น และการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานจะใช้จำนวน 5 ชั้น ซึ่งการเขียนเส้นกราฟในโปรแกรมดำเนินการตามขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 7 มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 7 ขั้นตอนการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าซี.บี.อาร์.และความหนาแน่นแห้ง

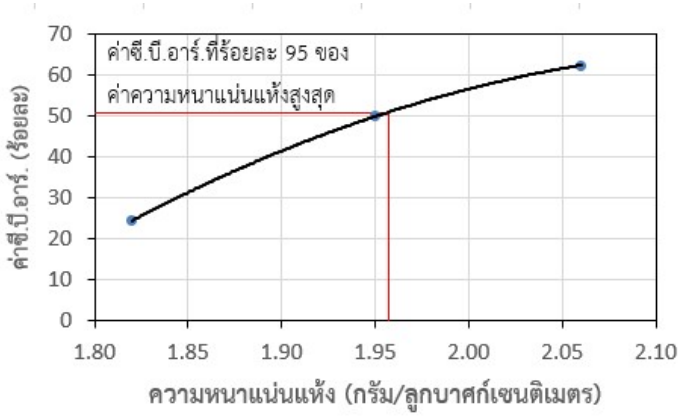
7.1 นำข้อมูลค่าซี.บี.อาร์.ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 6 และความหนาแน่นแห้งที่ได้จากการคำนวณในข้อ 4 มาพล็อตจุดบนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าซี.บี.อาร์.และความหนาแน่นแห้ง

7.2 ใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเรื่องการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting) หาสมการโพลิโนเมียลอันดับ 2 ($y = a_2x^2+a_1x+a_0$) โดยใช้การแก้ระบบเมทริกซ์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ a_2, a_1 และ a_0 ด้วยวิธีการหาเมทริกซ์อินเวอร์ส (Inverse Matrix) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 1 และนำสมการมาเขียนกราฟเส้น ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าซี.บี.อาร์.และความหนาแน่นแห้ง

8. หาค่าซี.บี.อาร์.ที่ต้องการตามร้อยละของความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยโปรแกรมสามารถดึงค่าพารามิเตอร์การบดอัด (ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุด) จากข้อมูลที่ถูกจัดเก็บเมื่อได้ประมวลผลการทดสอบด้วยโปรแกรมการบดอัดไปแล้ว หรือสามารถป้อนข้อมูลลงไปได้เอง แล้วโปรแกรมจะคำนวณหาค่าซี.บี.อาร์.ที่ต้องการโดยใช้สมการโพลิโนเมียลกำลังสองที่ได้หาไว้แล้วในข้อ 7 ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การหาค่าซี.บี.อาร์.ตามร้อยละของความหนาแน่นแห้งสูงสุด

การใช้งานโปรแกรม

การใช้งานโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบหาค่าซี.บี.อาร์.สามารถใช้งานได้ 3 กรณี ดังนี้

1. การทดสอบแบบไม่แช่น้ำ
2. การทดสอบแบบแช่น้ำ
3. การทดสอบทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำในตัวอย่างชนิดเดียวกัน

การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลดังต่อไปนี้จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับทั้ง 3 กรณีที่ได้กล่าวไว้แล้ว และเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจได้ง่าย จึงใช้ข้อความในตารางเป็นภาษาไทยซึ่งจะมีความหมายเดียวกับข้อความภาษาอังกฤษในโปรแกรม

1. ข้อมูลสำหรับหาปริมาณความชื้น

เงื่อนไขการทดสอบ	ก่อนแช่น้ำ			หลังแช่น้ำ		
หมายเลขกระป๋องเก็บตัวอย่างดิน	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6
มวลของกระป๋องรวมดินเปียก (กรัม)	256.85	266.73	261.46	283.72	298.12	284.93
มวลของกระป๋องรวมดินแห้ง (กรัม)	244.57	253.11	248.14	262.33	277.15	266.72
มวลของกระป๋อง (กรัม)	41.77	35.54	41.50	35.60	44.21	41.22

2. ข้อมูลสำหรับหาความหนาแน่นแห้ง

เงื่อนไข	ก่อนแช่น้ำ			หลังแช่น้ำ		
หมายเลขโมล	1	2	3	1	2	3
จำนวนครั้งบดอัดต่อชั้น/จำนวนชั้น	12/5	25/5	56/5	12/5	25/5	56/5
เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง (ซม.)	15.26	15.24	15.40	15.26	15.24	15.40
ความสูงของตัวอย่าง (ซม.)	11.56	11.57	11.53	11.58	11.58	11.53
มวลของโมลรวมดินบดอัด (กรัม)	11374	11688	11782	11474	11803	11804
มวลของโมล (กรัม)	7381	7440	6901	7381	7440	6901

3. ข้อมูลการวัดค่าการบวตัว (มวลกดทับ, Surcharge = 22 กิโลกรัม)

หมายเลขโมล		1	2	3
วัน/เดือน/ปี ที่วัดค่า	เวลา ที่วัดค่า	ค่าการบวมตัว (มม.)	ค่าการบวมตัว (มม.)	ค่าการบวมตัว (มม.)
22/01/2565	13.00	0	0	0
23/01/2565	13.00	0.180	0.096	0
24/01/2565	13.00	0.190	0.110	0
25/01/2565	13.00	0.190	0.110	0

4. ข้อมูลผลทดสอบกดตัวอย่าง (ค่าคงที่วงแหวนวัดแรง, K = 4.4 ปอนด์/ช่อง)

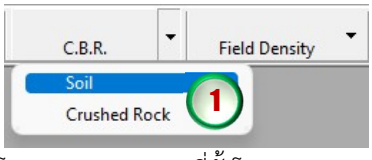
หมายเลขโมล	1		2		3	
ระยะจมของแท่งกดทดสอบ (นิ้ว)	ค่าอ่านวงแหวนวัดแรง (ช่อง)		ค่าอ่านวงแหวนวัดแรง (ช่อง)		ค่าอ่านวงแหวนวัดแรง (ช่อง)	
	ไม่แช่น้ำ	แช่น้ำ	ไม่แช่น้ำ	แช่น้ำ	ไม่แช่น้ำ	แช่น้ำ
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	20	13	50	34	55	110
0.050	44	30	98	52	147	235
0.075	67	48	144	83	250	327
0.100	90	66	186	125	360	416
0.125	111	84	230	225	462	501
0.150	132	100	274	250	566	578
0.175	150	117	316	290	675	646
0.200	170	134	358	323	770	712
0.225	185	149	403	350	878	777
0.250	200	164	438	378	972	833
0.275	215	180	478	408	1070	895
0.300	231	193	510	438	1168	950
0.350	260	222	560	492	1366	1060
0.400	288	250	653	542	1530	1154
0.450	314	272	723	589	1708	1248
0.500	343	300	788	621	1885	1328

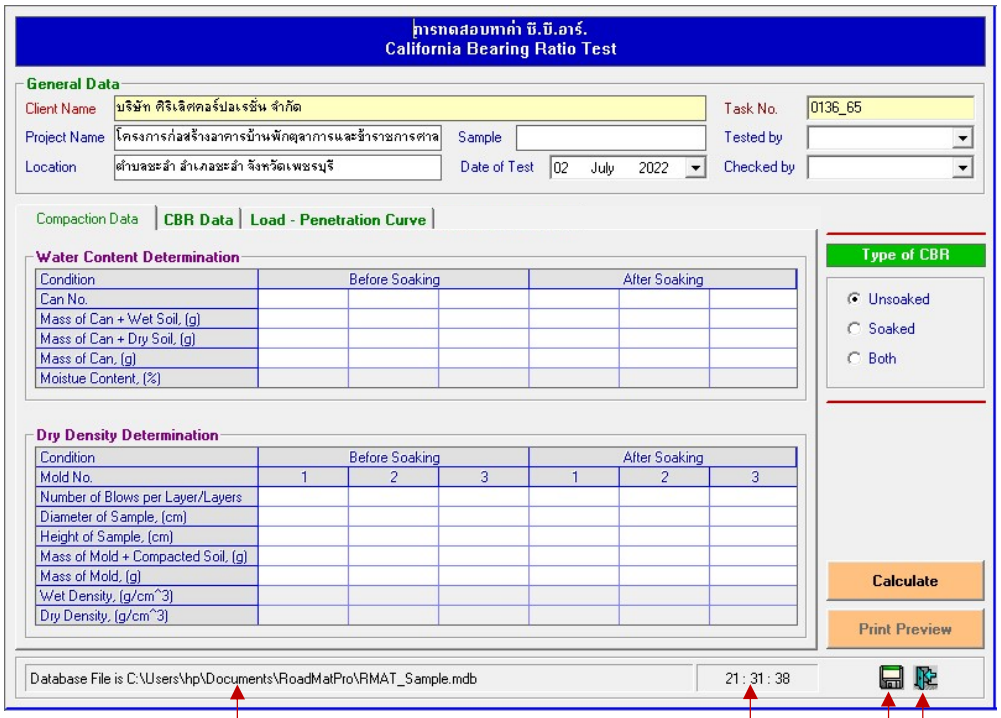
ข้อมูลที่แสดงข้างต้นเป็นข้อมูลของตัวอย่างดินชนิดเดียวกันซึ่งได้ทดสอบทั้งแบบไม่แช่น้ำและแบบแช่น้ำ โดยจะใช้ข้อมูลดังกล่าวแสดงการใช้งานโปรแกรมเพื่อหาค่าซี.บี.อาร์. ดังตัวอย่างที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

การป้อนข้อมูล

หลังจากได้สร้างไฟล์ข้อมูลแล้ว การใช้งานโปรแกรมจะเริ่มต้นจากการป้อนข้อมูล มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

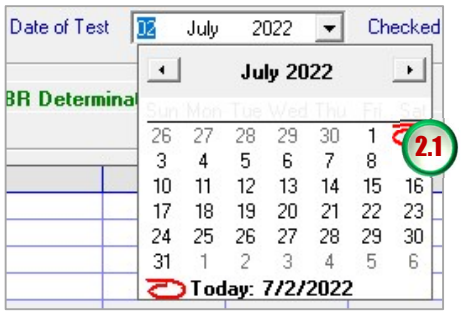
1. เลือกเมนูว่าจะวิเคราะห์และประมวลผลตัวอย่างชนิดใด Soil (ดิน) หรือ Crushed Rock (หินคลุก) ในที่นี้เลือก Soil ใช้เมาส์คลิกที่เมนู Soil จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง โดยจะดึงข้อมูลชื่อบริษัทหรือผู้ว่าจ้าง เลขที่งาน ชื่อโครงการ และสถานที่ตั้งโครงการ จากฐานข้อมูลที่ได้ป้อนไว้แล้วตอนสร้างไฟล์ใหม่ ดังแสดงในรูปข้างล่าง ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้โดยการคลิกและพิมพ์ข้อมูลใหม่ในช่องที่ต้องการ แล้วกดปุ่ม Enter เพื่อเลื่อนไปยังช่องถัดไป





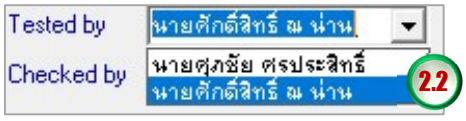
2. ป้อนข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

- ตัวอย่างทดสอบ (Sample) ป้อนชื่อตัวอย่าง เช่น ดินลูกรัง Silty Sand เป็นต้น
- วันที่ทดสอบ (Date of Test)



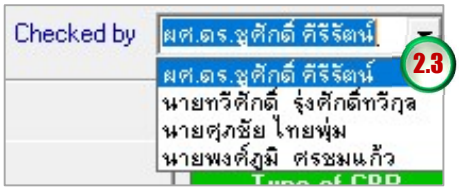
โปรแกรมจะแสดงวันที่ปัจจุบัน สามารถเลือกเปลี่ยนวันที่ได้

- ผู้ทดสอบ (Tested by)



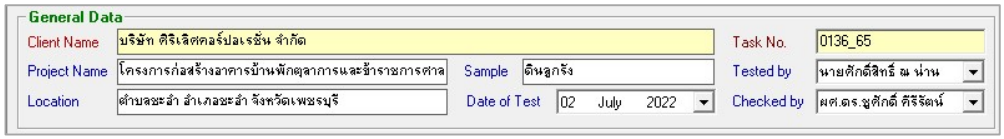
สามารถคลิกเลือกจากรายการ หรือพิมพ์ชื่อลงไปได้เลย

- ผู้ตรวจสอบ (Checked by)

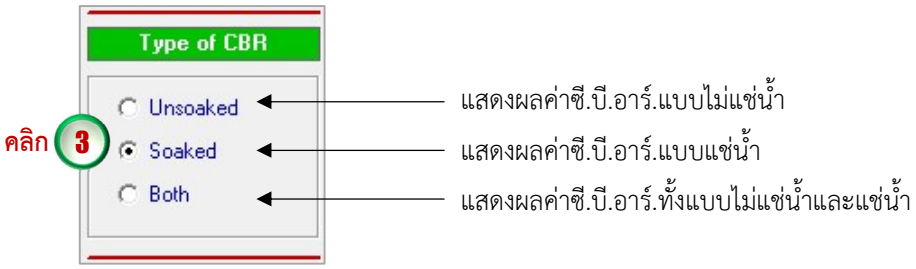


สามารถคลิกเลือกจากรายการ หรือพิมพ์ชื่อลงไปได้เลย

เมื่อป้อนข้อมูลเบื้องต้นเสร็จแล้วจะได้ดังรูปด้านล่าง และเมื่อคลิกปุ่มบันทึก ข้อมูลจะถูกจัดเก็บไว้ในไฟล์ทันที

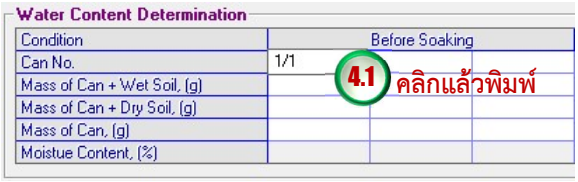


3. เลือกชนิดของการทดสอบหาค่าซี.บี.อาร์. โดยสามารถคลิกเลือกที่ปุ่มตัวเลือกดังนี้

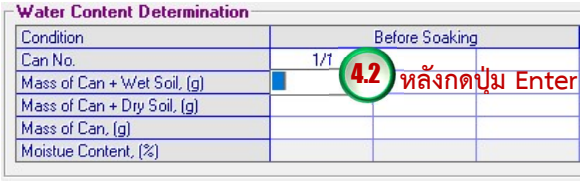


- กรณีเลือก Unsoaked จะต้องป้อนข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลสำหรับหาปริมาณความชื้น ข้อมูลสำหรับหาความหนาแน่นแห้ง และข้อมูลผลทดสอบกดตัวอย่าง ใช้ได้ทั้งการทดสอบแบบโมลเดียวและ 3 โมล
- กรณีเลือก Soaked จะต้องป้อนข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลสำหรับหาปริมาณความชื้น ข้อมูลสำหรับหาความหนาแน่นแห้ง ข้อมูลการวัดค่าการบวมตัว และข้อมูลผลทดสอบกดตัวอย่าง ใช้ได้ทั้งทดสอบแบบโมลเดียวและ 3 โมล
- กรณีเลือก Both จะต้องป้อนข้อมูลนำเข้าเหมือนกับกรณี Soaked แต่จะเป็นการทดสอบโดยใช้โมลเดียวทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำ

4. ป้อนข้อมูลเพื่อหาปริมาณความชื้น โดยการใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้

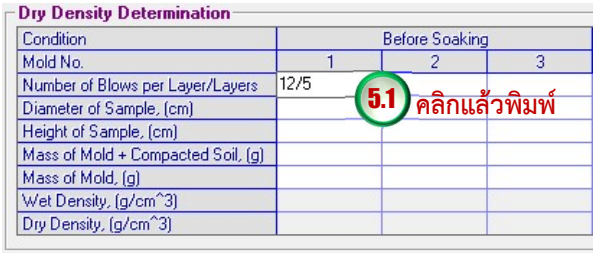


เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ

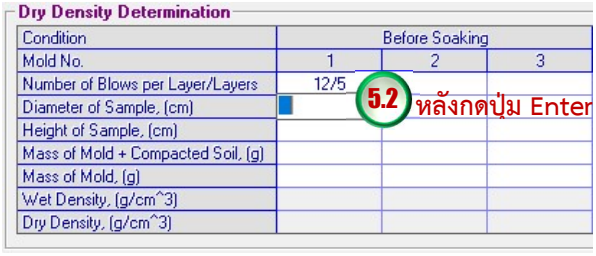


สำหรับกรณีเลือก Unsoaked ให้ป้อนข้อมูลในตารางเฉพาะ Before Soaking เท่านั้น โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว

5. ป้อนข้อมูลสำหรับหาความหนาแน่นแห้ง โดยการใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้

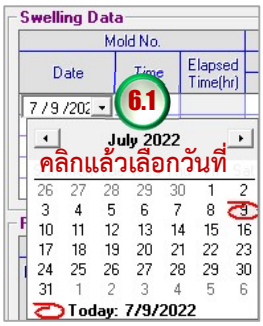


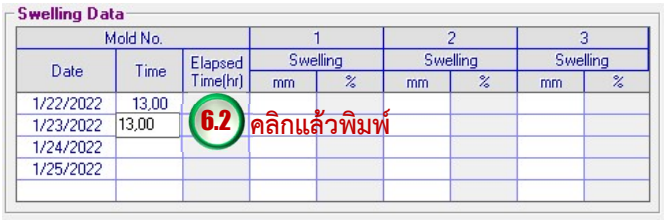
เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ



สำหรับกรณีเลือก Unsoaked ให้ป้อนข้อมูลในตารางเฉพาะ Before Soaking เท่านั้น โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว

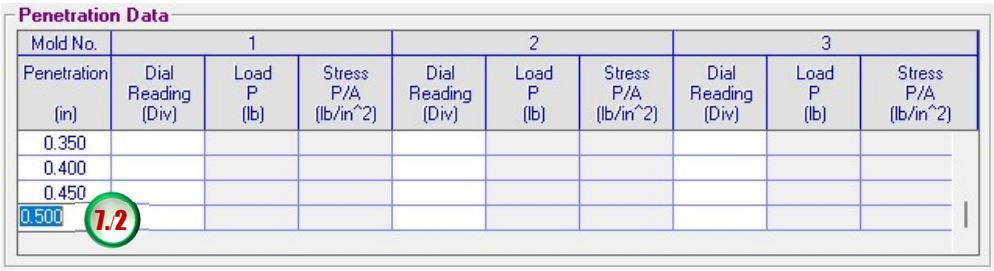
6. กรณีเลือก Unsoaked ให้ข้ามไปข้อที่ 7 สำหรับการป้อนข้อมูลการวัดค่าการบวมตัวนั้นจะดำเนินการกรณีเลือก Soaked และ Both เท่านั้น โดยการใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่าง เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว

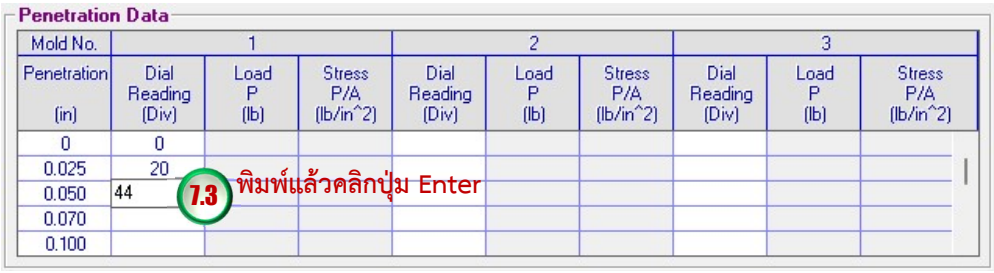




7. ป้อนข้อมูลผลทดสอบกดตัวอย่าง โดยต้องป้อนค่าคงที่วงแหวนวัดแรง (K Constant) และมวลดทับก่อน (Surcharge) ดังนี้

หากการทดสอบเก็บข้อมูลด้วย Data Logger ให้ป้อนค่า K Constant เท่ากับ 1 หลังจากนั้นใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางป้อนค่าระยะจมของแท่งกดทดสอบ (Penetration) เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อยืนยันข้อมูล แล้วป้อนค่าถัดไปจนถึงค่าระยะจมเท่ากับ 0.500 เมื่อกดปุ่ม Enter โปรแกรมจะสั่งให้ขึ้นคอลัมน์ใหม่ ให้ป้อนค่าอ่านวงแหวนวัดแรง (Dial Reading) จนครบ ดังนี้





การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลสามารถดำเนินการได้ตลอดการใช้งาน โดยคลิกปุ่มบันทึก ซึ่งข้อมูลจะถูกจัดเก็บในไฟล์ฐานข้อมูลเฉพาะข้อมูลที่ป้อนเท่านั้น ผู้ใช้งานควรบันทึกข้อมูลก่อนการประมวลผลทุกครั้ง เนื่องจากจะทำให้สามารถเรียกดูข้อมูลการทดสอบย้อนหลังได้

การคำนวณ

การคำนวณผลการทดสอบโดยโปรแกรมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การหาปริมาณความชื้น (Water Content, w)

$$w = \frac{M_{CW} - M_{CD}}{M_{CD} - M_C} \times 100$$

เมื่อ M_{CW} = มวลของกระป๋องรวมดินเปียก (กรัม)

M_{CD} = มวลของกระป๋องรวมดินแห้ง (กรัม)

M_C = มวลของกระป๋อง (กรัม)

การหาปริมาณความความหนาแน่นเปียก (Wet Density, ρ)

$$\rho = \frac{M}{V}$$

เมื่อ M = มวลของดินบดอัด (กรัม)

V = ปริมาตรของดินบดอัด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

$$= H_S * \frac{\pi * D_S^2}{4}$$

H_S = ความสูงของตัวอย่าง (เซนติเมตร)

D_S = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง (เซนติเมตร)

การหาปริมาณความความหนาแน่นแห้ง (Dry Density, ρ_d)

$$\rho_d = \frac{\rho}{(1 + w / 100)}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นเปียก (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

w = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

การหาร้อยละการบวมตัว (Percent Swelling, %S)

$$\%S = \frac{S_n - S_i}{H_S} x100$$

เมื่อ S_n = ค่าการบวมตัวเริ่มต้น (มิลลิเมตร)

S_i = ค่าการบวมตัวสุดท้าย (มิลลิเมตร)

H_S = ความสูงของตัวอย่างก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

การหาหน่วยแรงกด (Penetration Stress, σ)

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

เมื่อ P = แรงกด (ปอนด์)

= K * R

K = ค่าคงที่วงแหวนวัดแรง (ปอนด์/ช่อง)

R = ค่าอ่านวงแหวนวัดแรง (ช่อง)

A = พื้นที่หน้าตัดแท่งกดทดสอบ (3 ตารางนิ้ว)

การหาซี.บี.อาร์. (CBR Values, %CBR)

$$\%CBR = \frac{Stress}{Std.\ Stress} x100$$

เมื่อ Stress = หน่วยแรงกดทดสอบที่ระยะจมของแท่งกดทดสอบ 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว (ปอนด์/ตารางนิ้ว) กรณีที่มีการปรับแก้โค้งเส้นกราฟให้ใช้ค่าหน่วยแรงกดทดสอบที่ระยะปรับแก้แล้ว

Std. Stress = หน่วยแรงมาตรฐาน (ปอนด์/ตารางนิ้ว)

= 1000 ปอนด์/ตารางนิ้ว สำหรับหน่วยแรงกดที่ระยะจมระยะจม 0.1 นิ้ว

= 1500 ปอนด์/ตารางนิ้ว สำหรับหน่วยแรงกดที่ระยะจมระยะจม 0.2 นิ้ว

การประมวลผลของโปรแกรม

เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้วให้คลิกปุ่ม **Calculate** โปรแกรมจะประมวลผลการทดสอบและแสดงผลการคำนวณในตารางที่ป้อนข้อมูลไว้แล้วที่มีพื้นหลังสีเทาดังนี้

Compaction Data

Water Content Determination

Condition	Before Soaking			After Soaking		
Can No.	1/1	1/2	1/3	1/1	1/2	1/3
Mass of Can + Wet Soil, (g)	256.85	266.73	261.66	283.72	298.12	284.93
Mass of Can + Dry Soil, (g)	244.57	253.11	248.14	262.33	277.15	266.72
Mass of Can, (g)	41.77	35.56	41.50	35.60	44.21	41.22
Moistue Content, (%)	6.06	6.26	6.54	9.43	9.00	8.08

Dry Density Determination

Condition	Before Soaking			After Soaking		
Mold No.	1	2	3	1	2	3
Number of Blows per Layer/Layers	12/5	25/5	56/5	12/5	25/5	56/5
Diameter of Sample, (cm)	15.26	15.24	15.40	15.26	15.24	15.40
Height of Sample, (cm)	11.56	11.57	11.53	11.58	11.58	11.53
Mass of Mold + Compacted Soil, (g)	11374	11688	11782	11474	11803	11804
Mass of Mold, (g)	7381	7440	6901	7381	7440	6901
Wet Density, (g/cm^3)	1.89	2.12	2.27	1.93	2.07	2.28
Dry Density, (g/cm^3)	1.78	2.00	2.13	1.76	1.90	2.11

CBR Data

Swelling Data

Mold No.			1		2		3	
Date	Time	Elapsed Time(hr)	Swelling		Swelling		Swelling	
			mm	%	mm	%	mm	%
02/07/2565	13.00	0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
03/07/2565	13.00	24	0.180	0.16	0.096	0.08	0	0.00
04/07/2565	13.00	48	0.190	0.16	0.110	0.10	0	0.00
05/07/2565	13.00	72	0.190	0.16	0.110	0.10	0	0.00

K Constant 4.4 lb/div

Surcharge 22 kg

Penetration Data

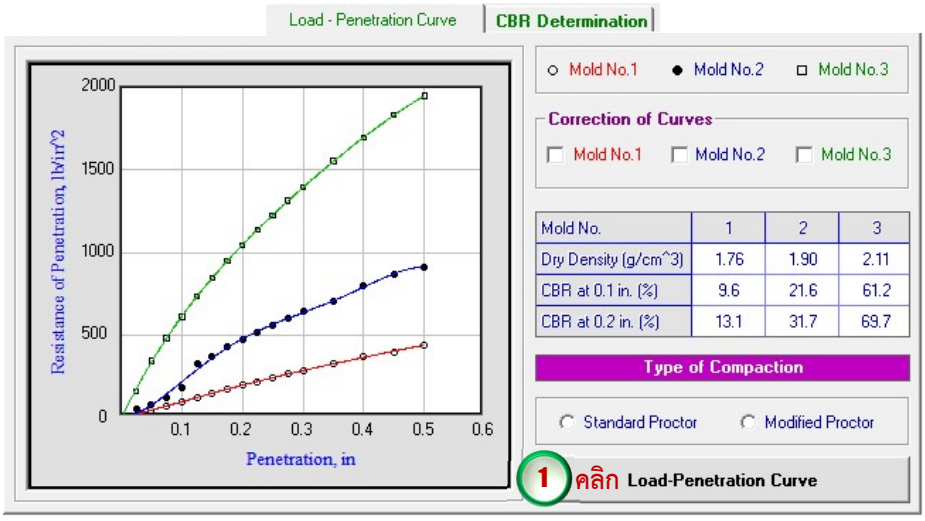
Mold No.	1			2			3		
Penetration (in)	Dial Reading (Div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Dial Reading (Div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Dial Reading (Div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)
0.000	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
0.025	13	57.2	19.07	34	149.6	49.87	110	484.0	161.33
0.050	30	132.0	44.00	52	228.8	76.27	235	1034.0	344.67
0.075	48	211.2	70.40	83	365.2	121.73	327	1438.8	479.60
0.100	66	290.4	96.80	125	550.0	183.33	416	1830.4	610.13

การหาค่าซี.บี.อาร์.

เมื่อประมวลผลการทดสอบด้วยโปรแกรมแล้ว สามารถจะดูค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจมของแท่งกดที่ 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว ได้โดยคลิกที่แท็บ Load-Penetration Curve โปรแกรมจะดึงค่าความหนาแน่นแห้งที่ได้คำนวณไว้แล้วมาใส่ในตารางดังรูปข้างล่าง แล้วจึงดำเนินการดังนี้

Mold No.	1	2	3
Dry Density (g/cm^3)	1.76	1.90	2.11
CBR at 0.1 in. (%)			
CBR at 0.2 in. (%)			

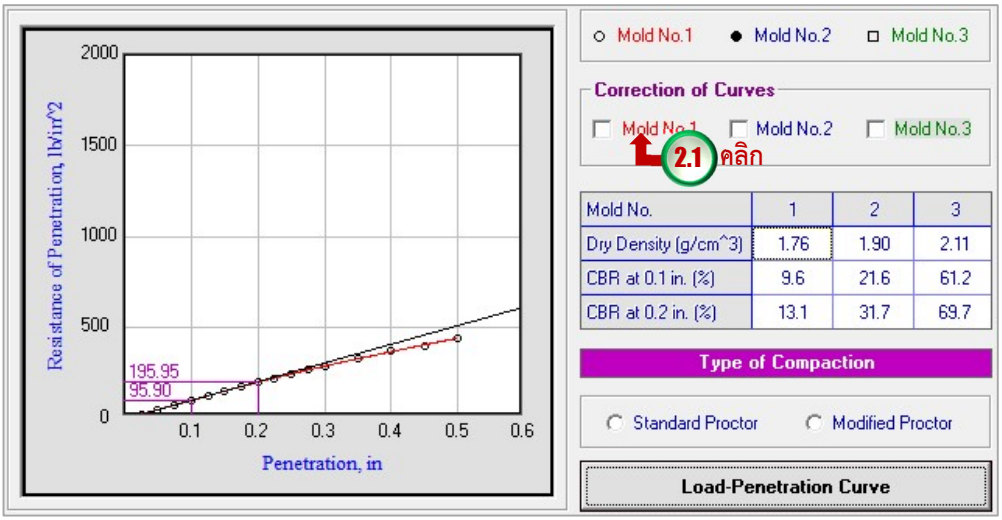
1. คลิกปุ่ม **Load-Penetration Curve** เพื่อแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจมของแท่งกด พร้อมทั้งแสดงค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจมของแท่งกดที่ 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว โดยหากมีข้อมูลการทดสอบแบบ 3 โมล จะปรากฏแท็บ CBR Determination ดังรูปข้างล่าง แต่หากเป็นการทดสอบแบบโมลเดียวจะไม่ปรากฏแท็บ CBR Determination

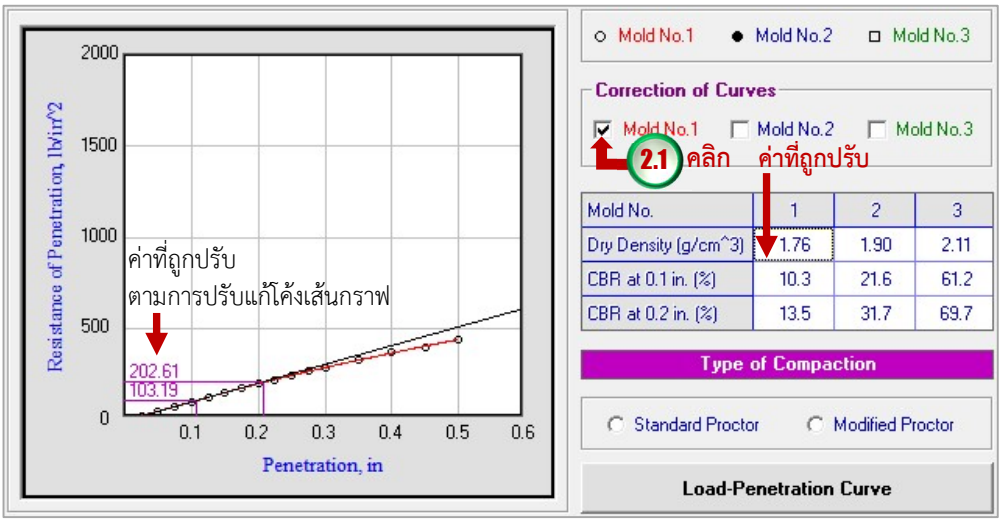


หากไม่ต้องการปรับแก้โค้งเส้นกราฟ สามารถใช้ค่าในตารางได้เลย แต่หากต้องการดูกราฟความสัมพันธ์แต่ละเส้น และต้องการปรับโค้งเส้นกราฟให้ดำเนินการในข้อ 2

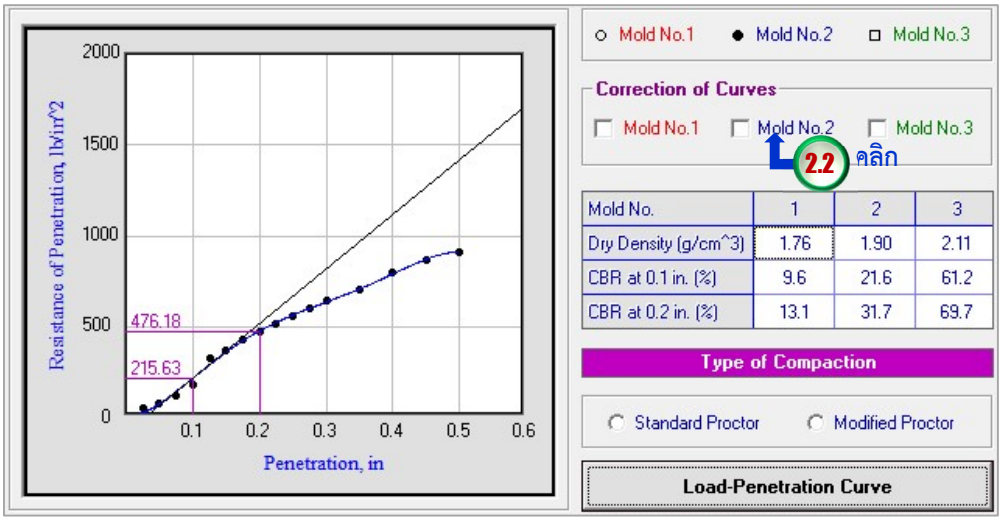
2. ให้คลิกเลือกหมายเลขโมล (Mold No.1 หรือ Mold No.2 หรือ Mold No.3) ที่ต้องการในกล่อง Correction of Curves ดังนี้

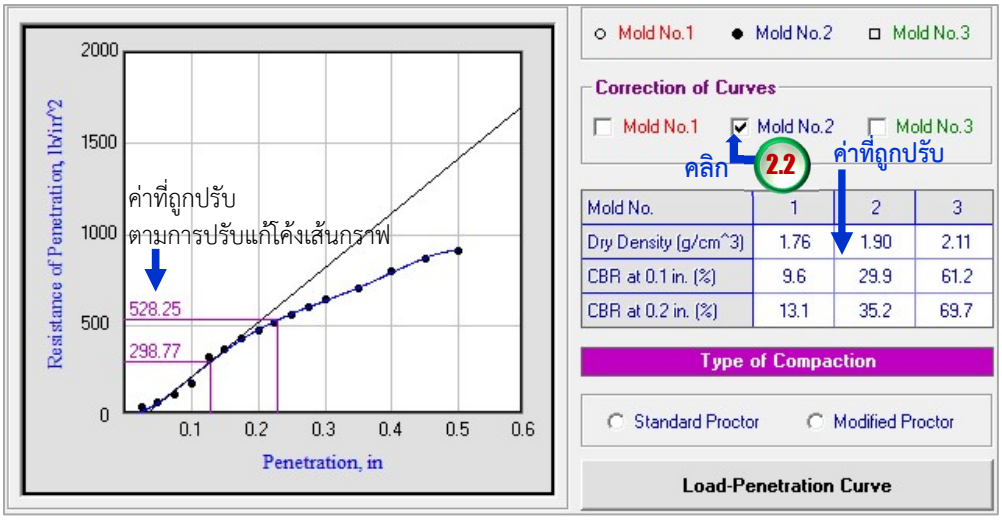
2.1 คลิกที่ข้อความ Mold No.1 เส้นกราฟจะถูกตามข้อมูลทดสอบการกดตัวอย่างใน Mold No.1 พร้อมทั้งเส้นตรงสัมผัสจุดที่มีความชันสูงสุดของเส้นกราฟ ผู้ใช้สามารถพิจารณาว่าจะปรับแก้โค้งเส้นกราฟหรือไม่ ดังรูปข้างล่าง และแสดงค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจมของแท่งกดที่ 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว จากกราฟแสดงให้เห็นว่าจุดเริ่มต้นของเส้นตรงอยู่ใกล้ตำแหน่งจุด (0, 0) มากจึงไม่จำเป็นต้องปรับแก้โค้งเส้นกราฟ แต่หากต้องการปรับแก้โค้งเส้นกราฟ ให้คลิกที่กล่องสี่เหลี่ยมหน้าข้อความ Mold No.1 ค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจมของแท่งกดที่ 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว จะแสดงค่าที่ถูกปรับแก้



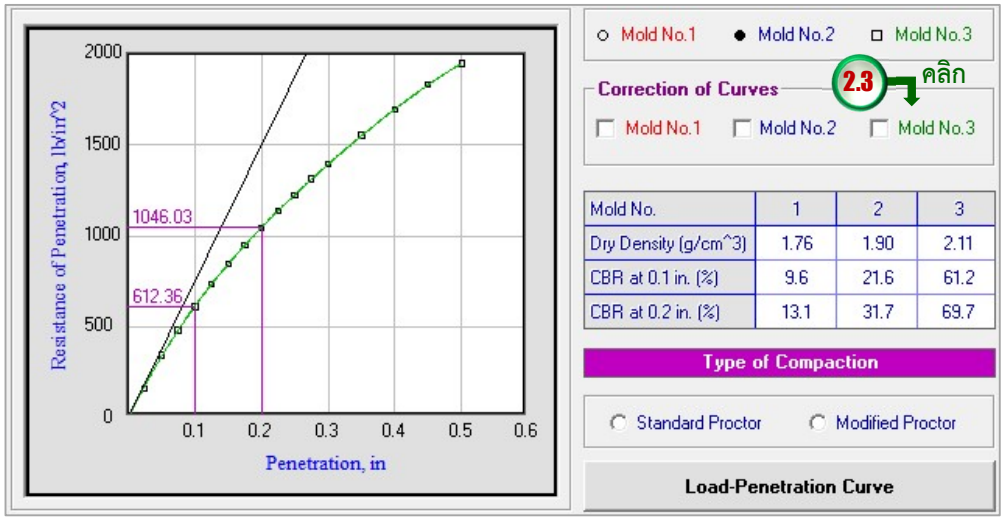


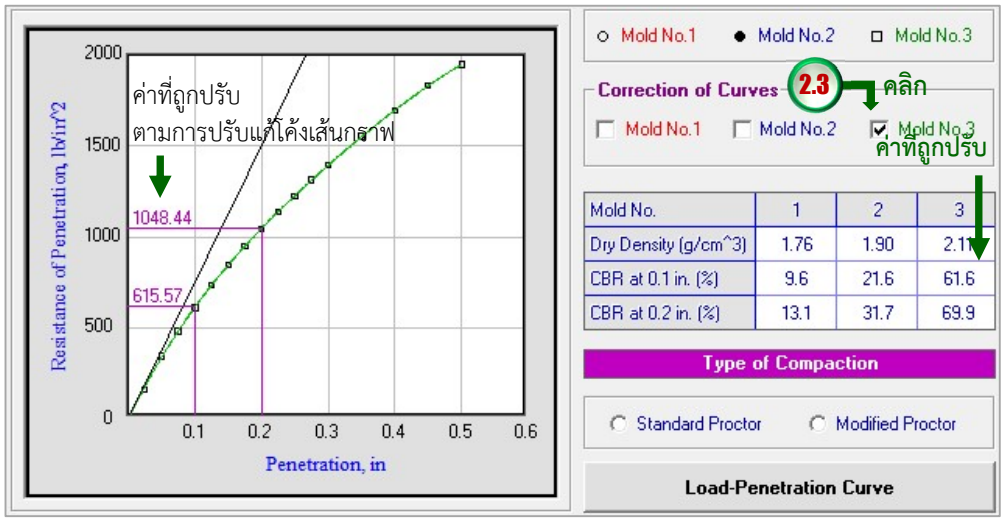
2.2 คลิกที่ข้อความ Mold No.2 โปรแกรมจะแสดงเส้นกราฟพร้อมทั้งเส้นตรงสัมผัสจุดที่มีความชันสูงสุดของเส้นกราฟ ดังรูปข้างล่าง จากกราฟแสดงให้เห็นว่าจุดเริ่มต้นของเส้นตรงอยู่ห่างจากตำแหน่งจุด (0, 0) มาก จึงต้องปรับแก้โค้งเส้นกราฟตามคำแนะนำของมาตรฐาน ASTM D 1883 โดยให้คลิกที่กล่องสี่เหลี่ยมหน้าข้อความ Mold No.2 ค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจมของแท่งกดที่ 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว ในกราฟและในตารางจะแสดงค่าที่ถูกปรับแก้





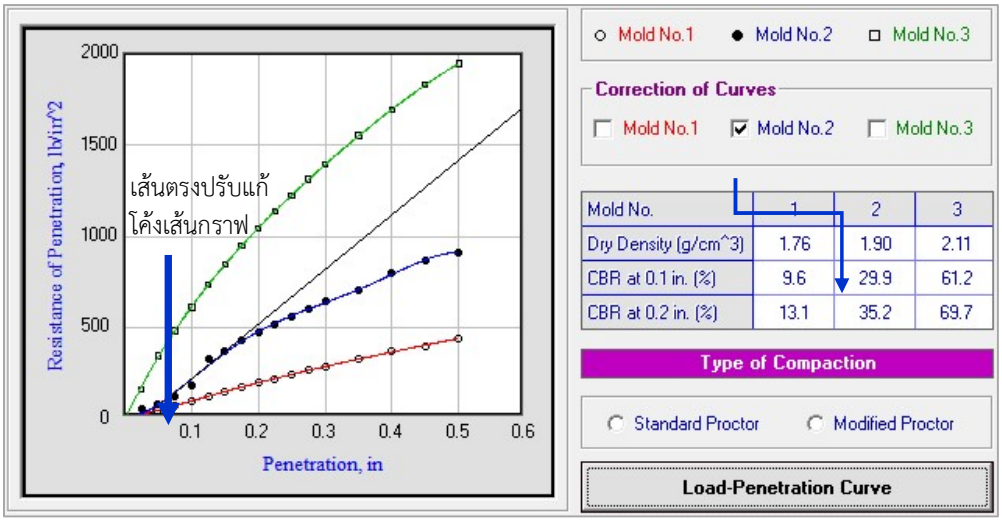
2.3 คลิกที่ข้อความ Mold No.3 โปรแกรมจะแสดงเส้นกราฟพร้อมทั้งเส้นตรงสัมผัสจุดที่มีความชันสูงสุดของเส้นกราฟ ดังรูปข้างล่าง รายละเอียดจะเหมือนกับที่ได้อธิบายในข้อ 2.1





2.4 เมื่อปรับแก้โค้งเส้นกราฟเรียบร้อยแล้วให้คลิกปุ่ม Load-Penetration Curve อีกครั้ง เพื่อให้แสดงกราฟของตัวอย่างทั้งหมดดังรูปข้างล่าง ซึ่งจะนำไปใช้ในการแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ จากข้อมูลในตารางแสดงให้เห็นว่าค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจมของแท่งกดที่ 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว ของ

ตัวอย่างใน Mold No.2 จะเปลี่ยนไปตามการปรับแก้โค้งเส้นกราฟซึ่งมีเครื่องหมายถูกในกล่องสี่เหลี่ยมด้านหน้าข้อความ Mold No.2 และจะแสดงเส้นตรงปรับแก้โค้งเส้นกราฟด้วย

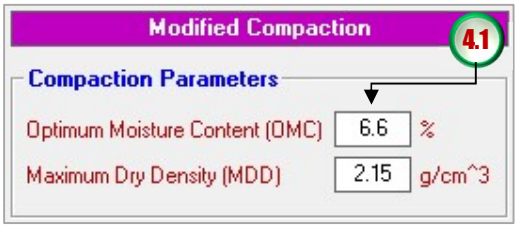


กรณีทดสอบแบบโมลเดียวซึ่งโดยปกติจะบดอัดจำนวน 56 ครั้งต่อชั้น สามารถพิจารณาค่าซี.บี.อาร์. จากหน้าจอนี้ได้เลย

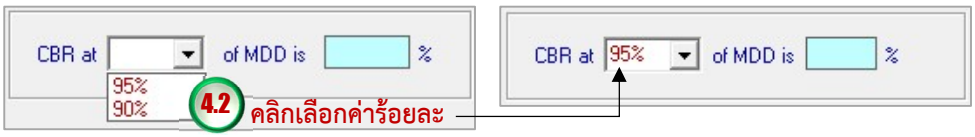
3. คลิกปุ่มตัวเลือกชนิดการบดอัดซึ่งจะนำไปใช้ในการรายงานผลดังรูปข้างล่าง หากต้องการหาค่าซี.บี.อาร์.ที่ร้อยละความหนาแน่นแห้ง ให้ดำเนินการต่อในข้อ 4

4. คลิกที่แท็บ CBR Determination กรณีทดสอบแบบใช้ 3 โมล (12, 25 และ 56 ครั้งต่อชั้น) ดังที่กล่าวมาข้างต้นสามารถหาค่า ซี.บี.อาร์.ที่ร้อยละของความหนาแน่นแห้งสูงสุดต่าง ๆ ได้ เช่น ค่าซี.บี.อาร์.ที่ร้อยละ 95 ของการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน เป็นต้น ให้ดำเนินการดังนี้

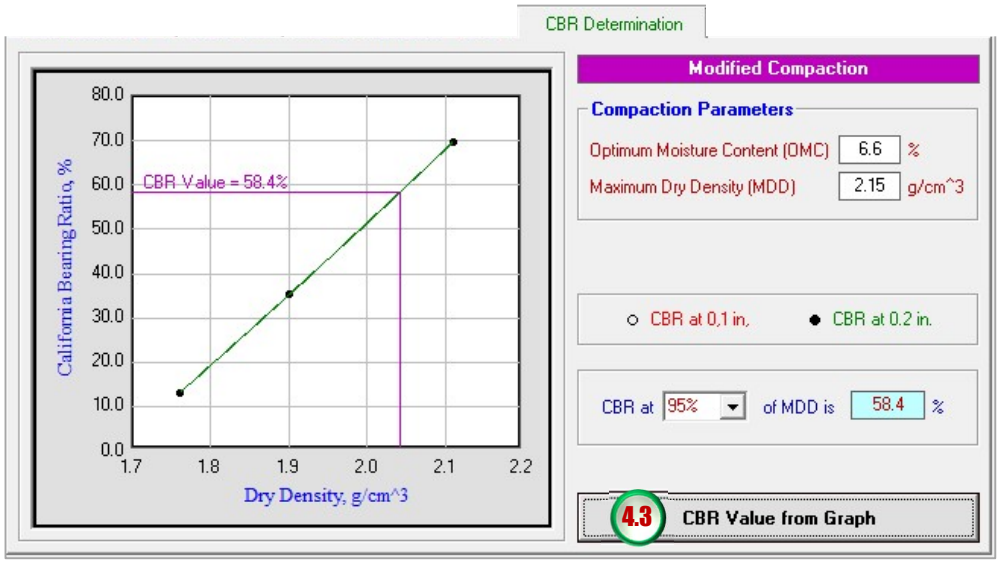
4.1 หลังจากคลิกปุ่มตัวเลือกชนิดการทดสอบการบดอัดแล้ว โปรแกรมจะดึงข้อมูลพารามิเตอร์การบดอัด (OMC และ MDD) จากไฟล์ฐานข้อมูลในกรณีที่ได้มีการประมวลผลการทดสอบการบดอัดแล้วมาแสดงดังรูปข้างล่าง สำหรับกรณีที่ไม่ได้ประมวลผลการทดสอบการบดอัดมาก่อนสามารถป้อนข้อมูลพารามิเตอร์การบดอัดได้โดยการคลิกในช่องแสดงข้อมูล OMC และ MDD



4.2 เลือกค่าซี.บี.อาร์.ที่ร้อยละของความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ต้องการดังรูปข้างล่าง หากต้องการกำหนดค่าร้อยละเองสามารถพิมพ์ในช่องแสดงค่าร้อยละ



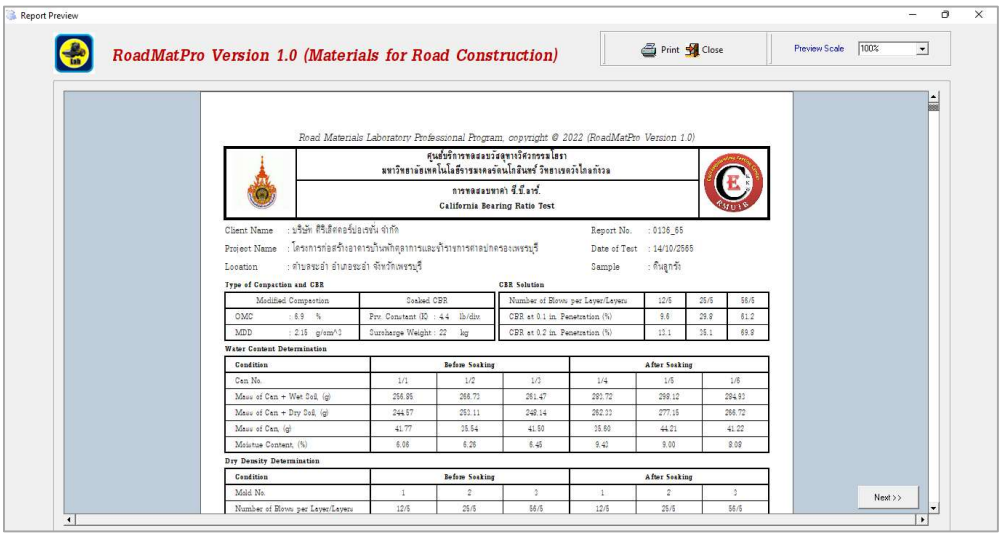
4.3 คลิกปุ่ม **CBR Value from Graph** โปรแกรมจะเลือกค่าซี.บี.อาร์.ที่ระยะจมของแท่งกดที่มีค่าสูงกว่า โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าซี.บี.อาร์.ที่ 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว มาพล็อตกราฟ และลากเส้นหาค่าซี.บี.อาร์.ที่ร้อยละของความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่กำหนด พร้อมแสดงค่าร้อยละซี.บี.อาร์. ดังรูปข้างล่าง



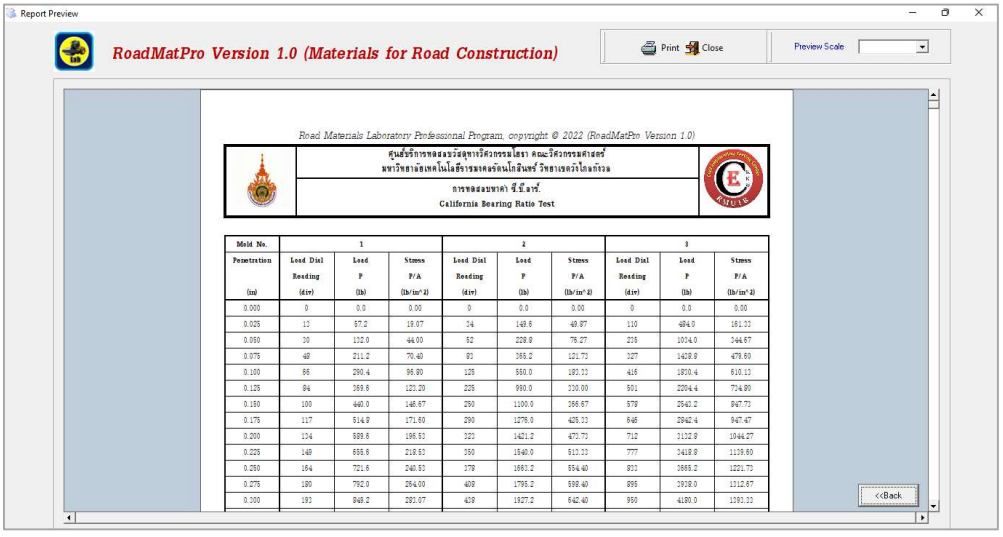
การรายงานผลทางเครื่องพิมพ์

เมื่อหาค่าซี.บี.อาร์.เรียบร้อยแล้ว สามารถรายงานผลทางเครื่องพิมพ์ได้โดยมีขั้นตอนดังนี้

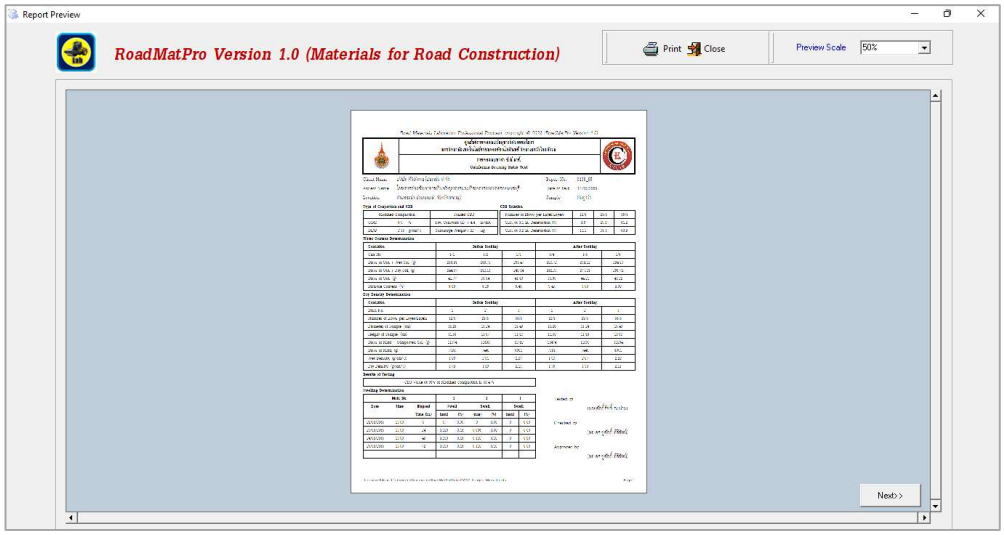
1. คลิกปุ่ม **Print Preview** หน้าจอจะแสดงภาพตัวอย่างก่อนพิมพ์ดังรูปข้างล่าง



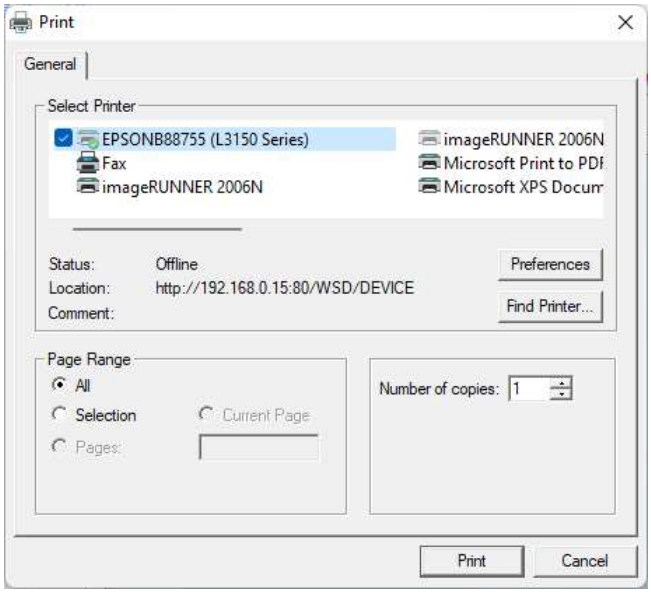
สำหรับหน้าถัดไปให้คลิกปุ่ม **Next >>** หน้าจอจะแสดงภาพตัวอย่างก่อนพิมพ์หน้าที่สองดังรูปข้างล่าง ข้อความบนปุ่มจะเปลี่ยนเป็น **<<Back** สามารถคลิกกลับไปดูหน้าแรกได้



สามารถดูภาพตัวอย่างก่อนพิมพ์ที่ขนาดร้อยละ 50 และร้อยละ 75 ได้ ซึ่งผลจากการเลือกให้แสดงขนาดที่ร้อยละ 50 Preview Scale 50% ดังแสดงในรูปข้างล่าง

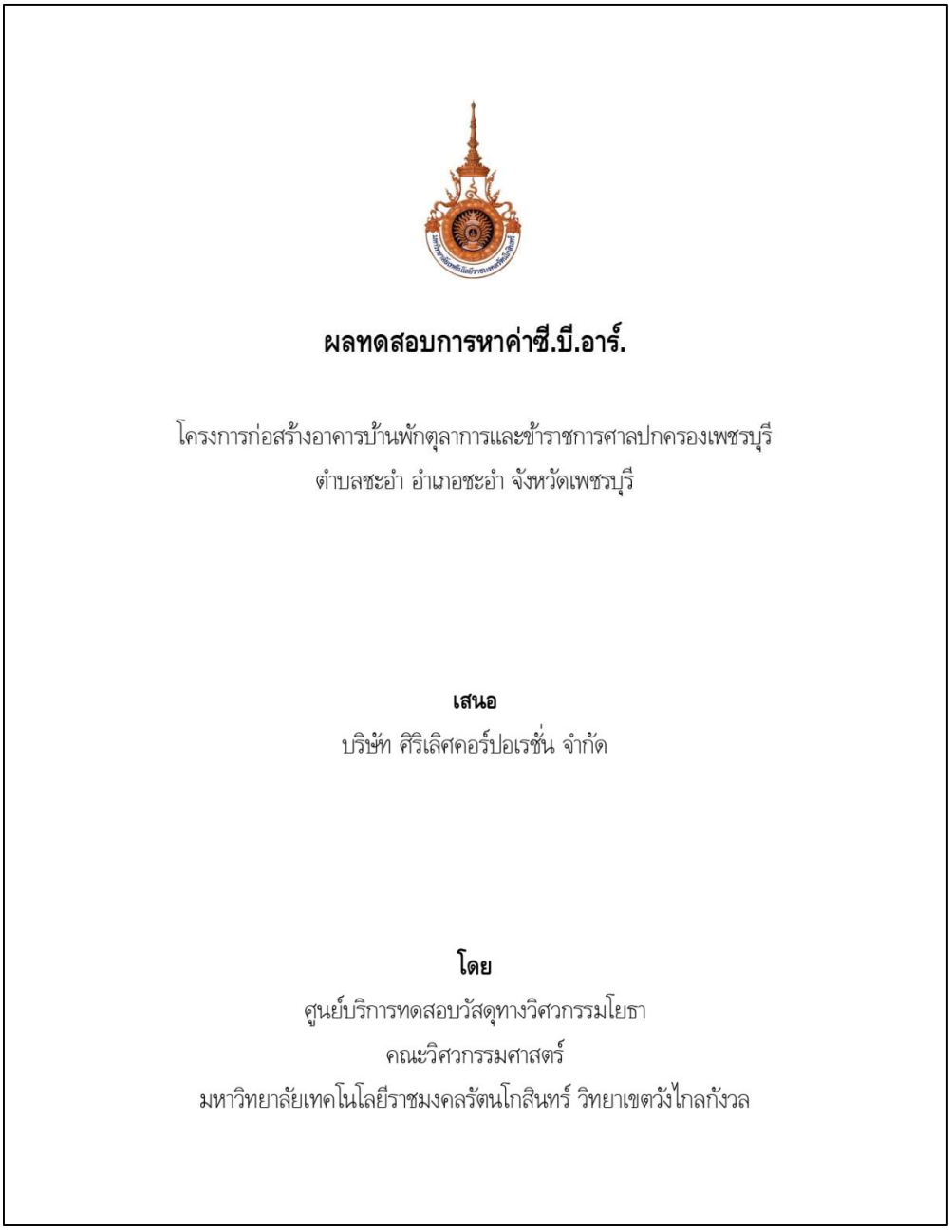


2. คลิกปุ่ม Print เพื่อสั่งให้พิมพ์รายงานผลการทดสอบออกทางเครื่องพิมพ์ โดยสามารถเลือกเครื่องพิมพ์ได้ตามต้องการดังรูปข้างล่าง แล้วคลิกปุ่มพิมพ์ หากต้องการปิดหน้าจอให้คลิกปุ่ม Close



3. ผลจากการสั่งพิมพ์ผลการทดสอบหาค่าซี.บี.อาร์.ดังตัวอย่างต่อไปนี้

3.1 ใบปกรายงานผลการทดสอบ



ผลทดสอบการหาค่าซี.บี.อาร์.

โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

เสนอ
บริษัท ศิริเลิศคอร์ปอเรชั่น จำกัด

โดย
ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

3.2 ตัวอย่างรายงานผลการหาค่าซี.บี.อาร์.แบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) ทดสอบแบบ 3 โมล

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์.
California Bearing Ratio Test

Client Name : บริษัท คิริเลิศดอร์ปอเรชั่น จำกัด
Project Name : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
Location : ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

Report No. : 0136_65
Date of Test : 14/10/2565
Sample : ดินลูกรัง

Type of Conpaction and CBR

Modified Compaction		Unsoaked CBR	
OMC	: 6.9 %	Prv. Constant (K)	: 4.4 lb/div.
MDD	: 2.15 g/cm^3	Surcharge Weight	: 22 kg

CBR Solution

Number of Blows per Layer/Layers	12/5	25/5	56/5
CBR at 0.1 in. Penetration (%)	13.1	27.6	63.2
CBR at 0.2 in. Penetration (%)	16.5	35.1	83.4

Water Content Determination

Condition	Before Soaking			After Soaking		
Can No.	1/1	1/2	1/3			
Mass of Can + Wet Soil, (g)	256.85	266.73	261.47			
Mass of Can + Dry Soil, (g)	244.57	253.11	248.14			
Mass of Can, (g)	41.77	35.54	41.50			
Moistue Content, (%)	6.06	6.26	6.45			

Dry Density Determination

Condition	Before Soaking			After Soaking		
Mold No.	1	2	3	1	2	3
Number of Blows per Layer/Layers	12/5	25/5	56/5			
Diameter of Sample, (cm)	15.26	15.24	15.40			
Height of Sample, (cm)	11.56	11.57	11.53			
Mass of Mold + Compacted Soil, (g)	11374	11688	11782			
Mass of Mold, (g)	7381	7440	6901			
Wet Density, (g/cm^3)	1.89	2.01	2.27			
Dry Density, (g/cm^3)	1.78	1.89	2.13			

Results of Testing

CBR Value at 95% of Modified Compaction is 64.6 %

Tested by .....
(นายศักดิ์สิทธิ์ ณ น่าน)

Checked by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Approved by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\Data\RMAT_Sample_Manual.mdb

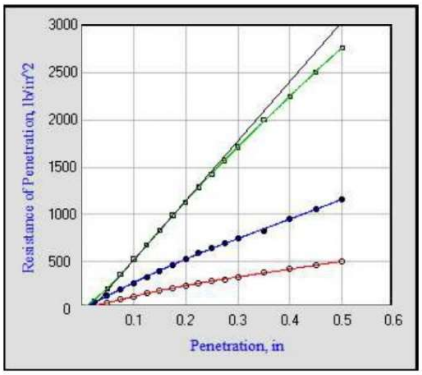
Page 1

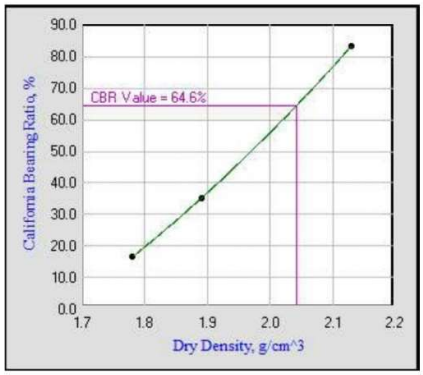
Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์.
California Bearing Ratio Test

Mold No.	1			2			3		
Penetration (in)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)
0.000	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
0.025	20	88.0	29.33	50	220.0	73.33	55	242.0	80.67
0.050	44	193.6	64.53	98	431.2	143.73	147	646.8	215.60
0.075	67	294.8	98.27	144	633.6	211.20	250	1100.0	366.67
0.100	90	396.0	132.00	186	818.4	272.80	360	1584.0	528.00
0.125	111	488.4	162.80	230	1012.0	337.33	462	2032.8	677.60
0.150	132	580.8	193.60	274	1205.6	401.87	566	2490.4	830.13
0.175	150	660.0	220.00	316	1390.4	463.47	675	2970.0	990.00
0.200	170	748.0	249.33	358	1575.2	525.07	770	3388.0	1129.33
0.225	185	814.0	271.33	403	1773.2	591.07	878	3863.2	1287.73
0.250	200	880.0	293.33	438	1927.2	642.40	972	4276.8	1425.60
0.275	215	946.0	315.33	478	2103.2	701.07	1070	4708.0	1569.33
0.300	231	1016.4	338.80	510	2244.0	748.00	1168	5139.2	1713.07
0.350	260	1144.0	381.33	560	2464.0	821.33	1366	6010.4	2003.47
0.400	288	1267.2	422.40	653	2873.2	957.73	1530	6732.0	2244.00
0.450	314	1381.6	460.53	723	3181.2	1060.40	1708	7515.2	2505.07
0.500	343	1509.2	503.07	788	3467.2	1155.73	1885	8294.0	2764.67





Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\Data\RMAT_Sample_Manual.mdb

3.3 ตัวอย่างรายงานผลการหาค่าซี.บี.อาร์.แบบแช่น้ำ (Soaked) ทดสอบแบบ 3 โมล

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์.
California Bearing Ratio Test

Client Name : บริษัท คิริเลิศดอร์ปอเรชั่น จำกัด
Project Name : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
Location : ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

Report No. : 0136_65
Date of Test : 14/10/2565
Sample : ดินลูกรัง

Type of Conpaction and CBR

Modified Compaction		Soaked CBR	
OMC	: 6.9 %	Prv. Constant (K)	: 4.4 lb/div.
MDD	: 2.15 g/cm^3	Surcharge Weight	: 22 kg

CBR Solution

Number of Blows per Layer/Layers	12/5	25/5	56/5
CBR at 0.1 in. Penetration (%)	9.6	29.8	61.2
CBR at 0.2 in. Penetration (%)	13.1	35.1	69.8

Water Content Determination

Condition	Before Soaking			After Soaking		
Mass of Can + Wet Soil, (g)	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6
Mass of Can + Dry Soil, (g)	256.85	266.73	261.47	283.72	298.12	284.93
Mass of Can, (g)	244.57	253.11	248.14	262.33	277.15	266.72
Moistue Content, (%)	41.77	35.54	41.50	35.60	44.21	41.22
	6.06	6.26	6.45	9.43	9.00	8.08

Dry Density Determination

Condition	Before Soaking			After Soaking		
Mold No.	1	2	3	1	2	3
Number of Blows per Layer/Layers	12/5	25/5	56/5	12/5	25/5	56/5
Diameter of Sample, (cm)	15.26	15.24	15.40	15.26	15.24	15.40
Height of Sample, (cm)	11.56	11.57	11.53	11.58	11.58	11.53
Mass of Mold + Compacted Soil, (g)	11374	11688	11782	11474	11803	11804
Mass of Mold, (g)	7381	7440	6901	7381	7440	6901
Wet Density, (g/cm^3)	1.89	2.01	2.27	1.93	2.07	2.28
Dry Density, (g/cm^3)	1.78	1.89	2.13	1.76	1.90	2.11

Results of Testing

CBR Value at 95% of Modified Compaction is 58.4 %

Swelling Determination

Mold No.			1		2		3	
Date	Time	Elapsed Time (hr.)	Swell (mm)	Swell (%)	Swell (mm)	Swell (%)	Swell (mm)	Swell (%)
14/10/2565	13.00	0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
15/10/2565	13.00	24	0.180	0.16	0.096	0.08	0	0.00
16/10/2565	13.00	48	0.190	0.16	0.110	0.10	0	0.00
17/10/2565	13.00	72	0.190	0.16	0.110	0.10	0	0.00

Tested by .....
(นายศักดิ์สิทธิ์ ณ น่าน)

Checked by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Approved by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\Data\RMAT_Sample_Manual.mdb

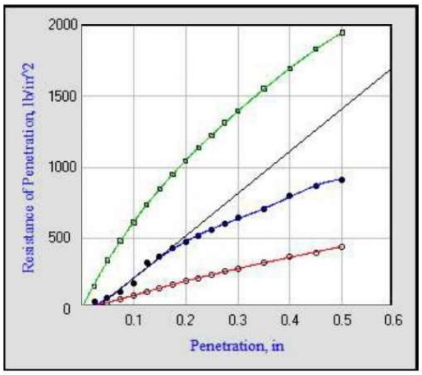
Page 1

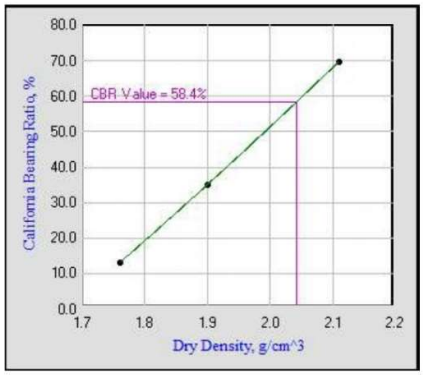
Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์.
California Bearing Ratio Test

Mold No.	1			2			3		
Penetration (in)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)
0.000	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
0.025	13	57.2	19.07	34	149.6	49.87	110	484.0	161.33
0.050	30	132.0	44.00	52	228.8	76.27	235	1034.0	344.67
0.075	48	211.2	70.40	83	365.2	121.73	327	1438.8	479.60
0.100	66	290.4	96.80	125	550.0	183.33	416	1830.4	610.13
0.125	84	369.6	123.20	225	990.0	330.00	501	2204.4	734.80
0.150	100	440.0	146.67	250	1100.0	366.67	578	2543.2	847.73
0.175	117	514.8	171.60	290	1276.0	425.33	646	2842.4	947.47
0.200	134	589.6	196.53	323	1421.2	473.73	712	3132.8	1044.27
0.225	149	655.6	218.53	350	1540.0	513.33	777	3418.8	1139.60
0.250	164	721.6	240.53	378	1663.2	554.40	833	3665.2	1221.73
0.275	180	792.0	264.00	408	1795.2	598.40	895	3938.0	1312.67
0.300	193	849.2	283.07	438	1927.2	642.40	950	4180.0	1393.33
0.350	222	976.8	325.60	482	2120.8	706.93	1060	4664.0	1554.67
0.400	250	1100.0	366.67	542	2384.8	794.93	1154	5077.6	1692.53
0.450	272	1196.8	398.93	589	2591.6	863.87	1248	5491.2	1830.40
0.500	300	1320.0	440.00	621	2732.4	910.80	1328	5843.2	1947.73





Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\Data\RMAT_Sample_Manual.mdb

Page 2

3.4 ตัวอย่างรายงานผลการหาค่าซี.บี.อาร์.แบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) ทดสอบแบบ 1 โมล

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์.
California Bearing Ratio Test

Client Name : บริษัท ศิริเลิศดอร์ปอเรชั่น จำกัด
Project Name : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
Location : ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

Report No. : 0136_65
Date of Test : 14/10/2565
Sample : ดินลูกรัง

Type of Conpaction and CBR

Modified Compaction	Unsoaked CBR
	Prv. Constant (K) : 4.4 lb/div.
	Surcharge Weight : 22 kg

CBR Solution

Number of Blows per Layer/Layers	56/5		
CBR at 0.1 in. Penetration (%)	63.2		
CBR at 0.2 in. Penetration (%)	83.4		

Water Content Determination

Condition	Before Soaking			After Soaking		
Can No.	1/3					
Mass of Can + Wet Soil, (g)	261.47					
Mass of Can + Dry Soil, (g)	248.14					
Mass of Can, (g)	41.50					
Moistue Content, (%)	6.45					

Dry Density Determination

Condition	Before Soaking			After Soaking		
Mold No.	1	2	3	1	2	3
Number of Blows per Layer/Layers	56/5					
Diameter of Sample, (cm)	15.40					
Height of Sample, (cm)	11.53					
Mass of Mold + Compacted Soil, (g)	11782					
Mass of Mold, (g)	6901					
Wet Density, (g/cm^3)	2.27					
Dry Density, (g/cm^3)	2.13					

Results of Testing

CBR Value of Modified Compaction is 83.4 %

Tested by .....
(นายศักดิ์สิทธิ์ ณ น่าน)

Checked by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Approved by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\DataPrint\ResultCBR\RMAT_TestCBRU1.mdb

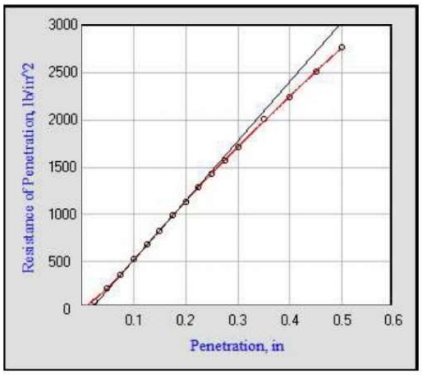
Page 1

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์.
California Bearing Ratio Test

Mold No.	1			2			3		
Penetration (in)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)
0.000	0	0.0	0.00						
0.025	55	242.0	80.67						
0.050	147	646.8	215.60						
0.075	250	1100.0	366.67						
0.100	360	1584.0	528.00						
0.125	462	2032.8	677.60						
0.150	566	2490.4	830.13						
0.175	675	2970.0	990.00						
0.200	770	3388.0	1129.33						
0.225	878	3863.2	1287.73						
0.250	972	4276.8	1425.60						
0.275	1070	4708.0	1569.33						
0.300	1168	5139.2	1713.07						
0.350	1366	6010.4	2003.47						
0.400	1530	6732.0	2244.00						
0.450	1708	7515.2	2505.07						
0.500	1885	8294.0	2764.67						



Dry Density is 2.13g/cm^3

CBR Value at 0.1 in. Penetration is 63.2%

CBR Value at 0.2 in. Penetration is 83.4%

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\DataPrint\ResultCBR\RMAT_TestCBRU1.mdb

3.5 ตัวอย่างรายงานผลการหาค่าซี.บี.อาร์.แบบแช่น้ำ (Soaked) ทดสอบแบบ 1 โมล

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์.
California Bearing Ratio Test

Client Name : บริษัท ศิริเลิศดอร์ปอเรชั่น จำกัด
Project Name : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
Location : ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

Report No. : 0136_65
Date of Test : 14/10/2565
Sample : ดินลูกรัง

Type of Conpaction and CBR

Modified Compaction	Soaked CBR
	Prv. Constant (K) : 4.4 lb/div.
	Surcharge Weight : 22 kg

CBR Solution

Number of Blows per Layer/Layers	56/5		
CBR at 0.1 in. Penetration (%)	61.2		
CBR at 0.2 in. Penetration (%)	69.8		

Water Content Determination

Condition	Before Soaking			After Soaking		
Mass of Can + Wet Soil, (g)	1/3			1/6		
Mass of Can + Dry Soil, (g)	261.47			284.93		
Mass of Can, (g)	248.14			266.72		
Moistue Content, (%)	41.50			41.22		
	6.45			8.08		

Dry Density Determination

Condition	Before Soaking			After Soaking		
Mold No.	1	2	3	1	2	3
Number of Blows per Layer/Layers	56/5			56/5		
Diameter of Sample, (cm)	15.40			15.40		
Height of Sample, (cm)	11.53			11.53		
Mass of Mold + Compacted Soil, (g)	11782			11804		
Mass of Mold, (g)	6901			6901		
Wet Density, (g/cm^3)	2.27			2.28		
Dry Density, (g/cm^3)	2.13			2.11		

Results of Testing

CBR Value of Modified Compaction is 69.8 %

Swelling Determination

Mold No.			1		2		3	
Date	Time	Elapsed Time (hr.)	Swell (mm)	Swell (%)	Swell (mm)	Swell (%)	Swell (mm)	Swell (%)
14/10/2565	13.00	0	0	0.00				
15/10/2565	13.00	24	0	0.00				
16/10/2565	13.00	48	0	0.00				
17/10/2565	13.00	72	0	0.00				

Tested by .....
(นายศักดิ์สิทธิ์ ณ น่าน)

Checked by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Approved by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\DataPrint\ResultCBR\RMAT_TestCBRU1.mdb

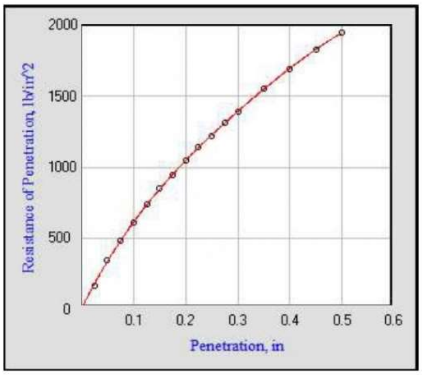
Page 1

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์.
California Bearing Ratio Test

Mold No.	1			2			3		
Penetration (in)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)
0.000	0	0.0	0.00						
0.025	110	484.0	161.33						
0.050	235	1034.0	344.67						
0.075	327	1438.8	479.60						
0.100	416	1830.4	610.13						
0.125	501	2204.4	734.80						
0.150	578	2543.2	847.73						
0.175	646	2842.4	947.47						
0.200	712	3132.8	1044.27						
0.225	777	3418.8	1139.60						
0.250	833	3665.2	1221.73						
0.275	895	3938.0	1312.67						
0.300	950	4180.0	1393.33						
0.350	1060	4664.0	1554.67						
0.400	1154	5077.6	1692.53						
0.450	1248	5491.2	1830.40						
0.500	1328	5843.2	1947.73						



Dry Density is 2.11g/cm^3

CBR Value at 0.1 in. Penetration is 61.2%

CBR Value at 0.2 in. Penetration is 69.8%

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\DataPrint\ResultCBR\RMAT_TestCBRU1.mdb

3.6 ตัวอย่างรายงานผลการหาค่าซี.บี.อาร์.ทั้งแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) และแบบแช่น้ำ (Soaked) ทดสอบแบบ 1 โมล

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์.
California Bearing Ratio Test

Client Name : บริษัท ศิริเลิศดอร์ปอเรชั่น จำกัด
Project Name : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
Location : ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

Report No. : 0136_65
Date of Test : 14/10/2565
Sample : ดินลูกรัง

Type of Conpaction and CBR

Modified Compaction	Unsoaked and Soaked CBR
	Prv. Constant (K) : 4.4 lb/div.
	Surcharge Weight : 22 kg

CBR Solution

Conditions	Unsoaked	Soaked	
CBR at 0.1 in. Penetration (%)	63.2	61.2	
CBR at 0.2 in. Penetration (%)	83.4	69.8	

Water Content Determination

Condition	Unsoaked			Soaked		
Mass of Can + Wet Soil, (g)	1/3			1/6		
Mass of Can + Dry Soil, (g)	261.47			284.93		
Mass of Can, (g)	248.14			266.72		
Moistue Content, (%)	41.50			41.22		
	6.45			8.08		

Dry Density Determination

Condition	Unsoaked			Soaked		
Mold No.	1	2	3	1	2	3
Number of Blows per Layer/Layers	56/5			56/5		
Diameter of Sample, (cm)	15.40			15.40		
Height of Sample, (cm)	11.53			11.53		
Mass of Mold + Compacted Soil, (g)	11782			11804		
Mass of Mold, (g)	6901			6901		
Wet Density, (g/cm^3)	2.27			2.28		
Dry Density, (g/cm^3)	2.13			2.11		

Results of Testing

CBR Value of Modified Compaction is 69.8 %

Swelling Determination

Mold No.			1		2		3	
Date	Time	Elapsed Time (hr.)	Swell (mm)	Swell (%)	Swell (mm)	Swell (%)	Swell (mm)	Swell (%)
14/10/2565	13.00	0	0	0.00				
15/10/2565	13.00	24	0	0.00				
16/10/2565	13.00	48	0	0.00				
17/10/2565	13.00	72	0	0.00				

Tested by .....
(นายศักดิ์สิทธิ์ ณ น่าน)

Checked by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Approved by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\DataPrint\ResultCBR\RMAT_TestCBRU1.mdb

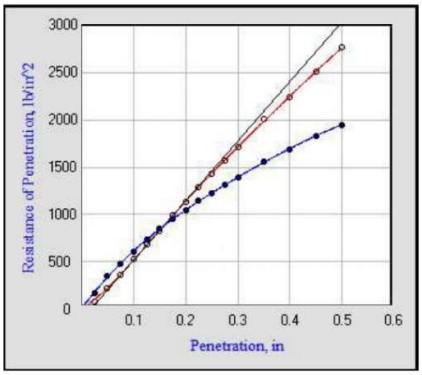
Page 1

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์.
California Bearing Ratio Test

Mold No.	Unsoaked			Soaked					
Penetration (in)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)
0.000	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00			
0.025	55	242.0	80.67	110	484.0	161.33			
0.050	147	646.8	215.60	235	1034.0	344.67			
0.075	250	1100.0	366.67	327	1438.8	479.60			
0.100	360	1584.0	528.00	416	1830.4	610.13			
0.125	462	2032.8	677.60	501	2204.4	734.80			
0.150	566	2490.4	830.13	578	2543.2	847.73			
0.175	675	2970.0	990.00	646	2842.4	947.47			
0.200	770	3388.0	1129.33	712	3132.8	1044.27			
0.225	878	3863.2	1287.73	777	3418.8	1139.60			
0.250	972	4276.8	1425.60	833	3665.2	1221.73			
0.275	1070	4708.0	1569.33	895	3938.0	1312.67			
0.300	1168	5139.2	1713.07	950	4180.0	1393.33			
0.350	1366	6010.4	2003.47	1060	4664.0	1554.67			
0.400	1530	6732.0	2244.00	1154	5077.6	1692.53			
0.450	1708	7515.2	2505.07	1248	5491.2	1830.40			
0.500	1885	8294.0	2764.67	1328	5843.2	1947.73			



Unsoaked CBR

Dry Density is 2.13g/cm^3

CBR Value at 0.1 in. Penetration is 63.2%

CBR Value at 0.2 in. Penetration is 83.4%

Soaked CBR

Dry Density is 2.11g/cm^3

CBR Value at 0.1 in. Penetration is 61.2%

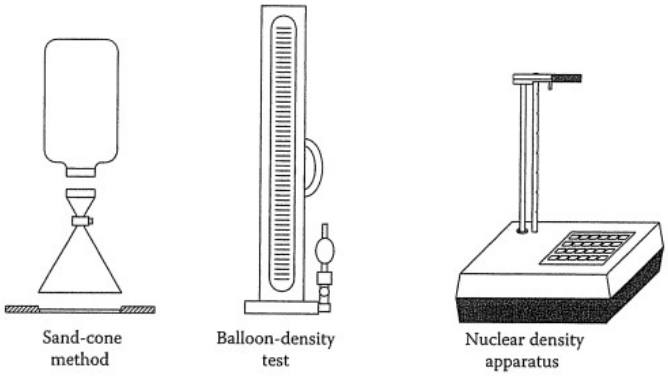
CBR Value at 0.2 in. Penetration is 69.8%

บทที่ 8

การหาความหนาแน่นของดิน ในสนามด้วยวิธีกรวยทราย Field Density Test

บทนำ

การทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม คือ การหาค่าความหนาแน่นเปียกและปริมาณความชื้นของดินในบริเวณที่ได้บดอัดด้วยเครื่องจักรเสร็จเรียบร้อยแล้ว และนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นแห้งเปรียบเทียบกับความหนาแน่นแห้งของดินที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการในรูปของร้อยละการบดอัด (Percent Compaction) หรือการบดอัดสัมพัทธ์ (Relative Compaction) ผลของการทดสอบความหนาแน่นของดินในสนามสามารถพิจารณาตามข้อกำหนดดังตารางที่ 1 ซึ่งการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม (Field Density) สามารถทดสอบได้ 3 วิธี (รูปที่ 1) ดังนี้



รูปที่ 1 วิธีการทดสอบหาความหนาแน่นแห้งในสนาม (Fratta et. al, 2007)

1. วิธีกรวยทราย (Sand Cone Method) วิธีนี้ใช้ทรายช่วยในการหาปริมาตรของหลุม โดยทรายที่ใช้ในการทดสอบคือ ทรายออตตาวา (Ottawa Sand) ซึ่งเม็ดทรายจะมีลักษณะกลมและมีขนาดเท่า ๆ กัน (Uniform) หรืออาจใช้ทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างตะแกรงเบอร์ 30 ก็ได้ เพื่อให้

ความหนาแน่นที่ทดสอบได้มีความสม่ำเสมอและไม่เกิดการแยกตัวของเม็ดหยาบและเม็ดละเอียด (Segregation) ขณะทำการทดสอบ

2. วิธีลูกโป่งยาง (Rubber Balloon Method) วิธีนี้ใช้น้ำช่วยในการหาปริมาตรของหลุม ซึ่งสะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีแรก โดยการทดสอบจะอาศัยลมจากลูกบอลบีบอัดลงไปตรงส่วนบนของผิวน้ำในหลอดแก้วของเครื่องมือเพื่อทำให้น้ำในหลอดแก้วถูกดันออกไปในลูกโป่งยาง และไหลลงไปในหลุมทดสอบที่ขุดเอาไว้ใต้แผ่นรอง (Base Plate) ลมที่อัดลงไปจะช่วยให้น้ำในลูกโป่งยางอัดแนบสนิทกับก้นหลุม ทำให้ได้ค่าปริมาตรของหลุมที่ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น
3. วิธีนิวเคลียร์ (Nuclear Method) วิธีนี้ใช้การปล่อยรังสีแกมม่า (Gamma Ray) ส่งผ่านดินบดอัดไปยังเครื่องรับรังสี ถ้ารังสีสะท้อนกลับไปเครื่องรับมากแสดงว่าดินมีความหนาแน่นสูง สำหรับการหาปริมาณความชื้นจะใช้การปล่อยนิวตรอน (Neutron) ส่งผ่านดินบดอัดและสะท้อนไปยังเครื่องรับ อนุภาคของนิวตรอนจะไปชนกับอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำ ถ้านิวตรอนสะท้อนกลับเข้าเครื่องรับช้าแสดงว่าปริมาณน้ำในมวลดินมีมาก วิธีนี้สามารถดำเนินการได้สะดวกและให้ผลลัพธ์ได้รวดเร็ว แต่มีค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูง

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดความแน่นของการบดอัดที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างชนิดต่าง ๆ (Day, 2010)

ชนิดของงานก่อสร้าง	ข้อกำหนด
ชั้นพื้นทางของถนน ทางวิ่งสนามบิน	ร้อยละ 95 – 100 ของการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน
คันทางถนน	ร้อยละ 95 – 100 ของการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน
	ร้อยละ 90 – 95 ของการบดอัดแบบมาตรฐาน
เขื่อนดิน	ร้อยละ 95 – 100 ของการบดอัดแบบมาตรฐาน
ดินถมใต้ฐานรากอาคาร	ร้อยละ 90 – 95 ของการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

การทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมนี้จะใช้สำหรับประมวลผลเฉพาะวิธีกรวยทราย สามารถประมวลผลได้ครั้งละ 6 ตำแหน่งทดสอบ โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 2

รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม อธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. การป้อนข้อมูลเบื้องต้น เป็นการป้อนข้อมูลทางแป้นพิมพ์ ได้แก่ ชื่อบริษัทหรือผู้ว่าจ้าง หมายเลขรับงาน ชื่อโครงการ สถานที่ตั้งโครงการ ชนิดตัวอย่าง วันที่ทดสอบ ชื่อผู้ทดสอบ และชื่อผู้ตรวจสอบ
2. การป้อนข้อมูลสอบเทียบ เป็นการป้อนข้อมูลทางแป้นพิมพ์ ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

2.1 การสอบเทียบมวลของทรายในกรวยซึ่งสามารถดำเนินการได้หลายครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ได้แก่ มวลของทรายรวมขวดบรรจุทรายและกรวยก่อนสอบเทียบ และมวลของทรายรวมขวดบรรจุทรายและกรวยหลังสอบเทียบ

2.2 การหาค่าความหนาแน่นแห้งของทรายเมื่อถูกปล่อยให้ตกอย่างอิสระจากขวดบรรจุทรายผ่านกรวยทรายลงในโมลซึ่งสามารถดำเนินการได้หลายครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโมล ความสูงโมล มวลของโมลรวมฐานรอง และมวลของโมลรวมฐานรองและทราย

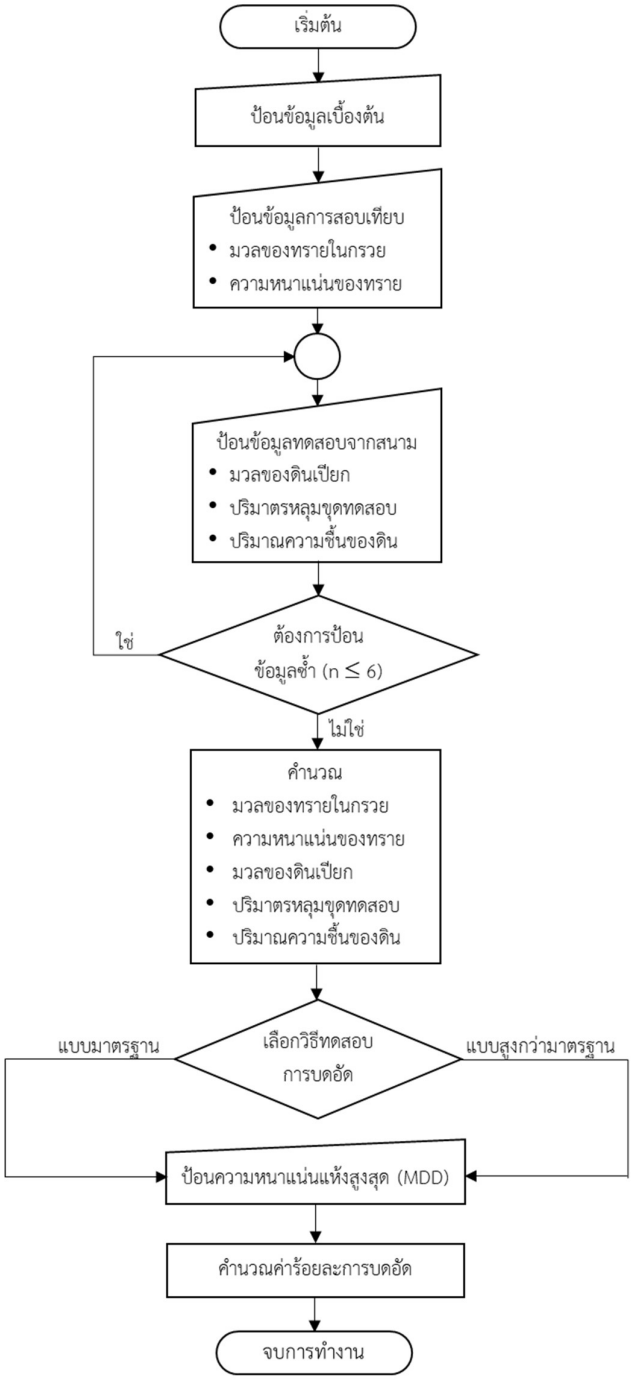
3. การป้อนข้อมูลทดสอบจากสนาม เป็นการป้อนข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในสนามทางแป้นพิมพ์ ซึ่งสามารถป้อนข้อมูลได้ 6 ตำแหน่งทดสอบ ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

3.1 ข้อมูลมวลของดินเปียก ได้แก่ มวลของดินเปียกรวมภาชนะ และมวลของภาชนะ

3.2 ข้อมูลปริมาตรหลุมขุดทดสอบ ได้แก่ มวลของทรายรวมขวดบรรจุทรายและกรวยก่อนทดสอบ และมวลของทรายรวมขวดบรรจุทรายและกรวยหลังทดสอบ

3.3 ข้อมูลการหาปริมาณความชื้น ได้แก่ หมายเลขกระป๋อง มวลของกระป๋องรวมดินเปียก มวลของกระป๋องรวมดินแห้ง และมวลของกระป๋อง

4. การคำนวณ เป็นการประมวลผลข้อมูลที่ได้ป้อนไว้แล้วในข้อที่ 3 เพื่อหาค่ามวลของทรายในกรวย ความหนาแน่นแห้งของทราย มวลของดินเปียก ปริมาตรหลุมเจาะทดสอบ และปริมาณความชื้น
5. ป้อนความหนาแน่นแห้งสูงสุด เป็นการป้อนค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการบดอัดซึ่งสามารถเลือกได้ว่าเป็นการบดอัดแบบมาตรฐานหรือแบบสูงกว่ามาตรฐาน
6. การคำนวณหาค่าร้อยละการบดอัด เป็นการคำนวณค่าร้อยละของความหนาแน่นแห้งของดินที่ตำแหน่งทดสอบเปรียบเทียบกับความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินที่ได้จากการทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหาร้อยละการบดอัด

การใช้งานโปรแกรม

การใช้งานโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม สามารถใช้งานได้ดังนี้

การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลดังต่อไปนี้จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับหาค่าร้อยละการบดอัด และเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจได้ง่าย จึงใช้ข้อความในตารางเป็นภาษาไทยซึ่งจะมีความหมายเดียวกับข้อความภาษาอังกฤษในโปรแกรม

1. ข้อมูลสำหรับคำนวณมวลของทรายในกรวย

ครั้งที่สอบเทียบ	1	2	3
มวลของทรายรวมขวดและกรวยก่อนสอบเทียบ (กรัม)	10413	10400	10420
มวลของทรายรวมขวดและกรวยหลังสอบเทียบ (กรัม)	8522	8510	8525

2. ข้อมูลสำหรับคำนวณความหนาแน่นแห้งของทรายสอบเทียบด้วยโมล

ครั้งที่สอบเทียบ	1	2	3
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโมล (ซม.)	15.26	15.26	15.26
ความสูงโมล (ซม.)	11.76	11.76	11.76
มวลของโมลรวมฐานรอง (กรัม)	5784	5784	5784
มวลของโมลรวมฐานรองและทราย (กรัม)	9192	9190	9195

3. ข้อมูลสำหรับคำนวณมวลของดินเปียก

ตำแหน่งจุดทดสอบ	1	2	3	4	5	6
มวลของดินขุดรวมภาชนะ (กรัม)	7008	7125	7143	7098	7068	7117
มวลของภาชนะ (กรัม)	434	434	434	434	434	434

4. ข้อมูลสำหรับคำนวณปริมาตรหลุมขุดทดสอบ

ตำแหน่งจุดทดสอบ	1	2	3	4	5	6
มวลของทรายรวมขวดและกรวยก่อนทดสอบ (กรัม)	10123	10230	10280	10198	10152	10133
มวลของทรายรวมขวดและกรวยหลังทดสอบ (กรัม)	3424	3452	3475	3436	3429	3436

5. ข้อมูลสำหรับคำนวณปริมาณความชื้น

ตำแหน่งจุดทดสอบ	1	2	3	4	5	6
มวลของดินเปียกรวมกระป๋อง (กรัม)	279.80	259.85	263.64	284.52	274.52	268.47
มวลของดินแห้งรวมกระป๋อง (กรัม)	267.42	250.73	252.35	262.91	262.91	255.42
มวลของกระป๋อง (กรัม)	43.75	43.92	42.87	43.25	43.25	42.35

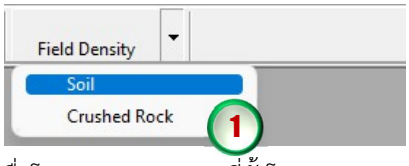
6. ข้อมูลสำหรับคำนวณร้อยละการบดอัด

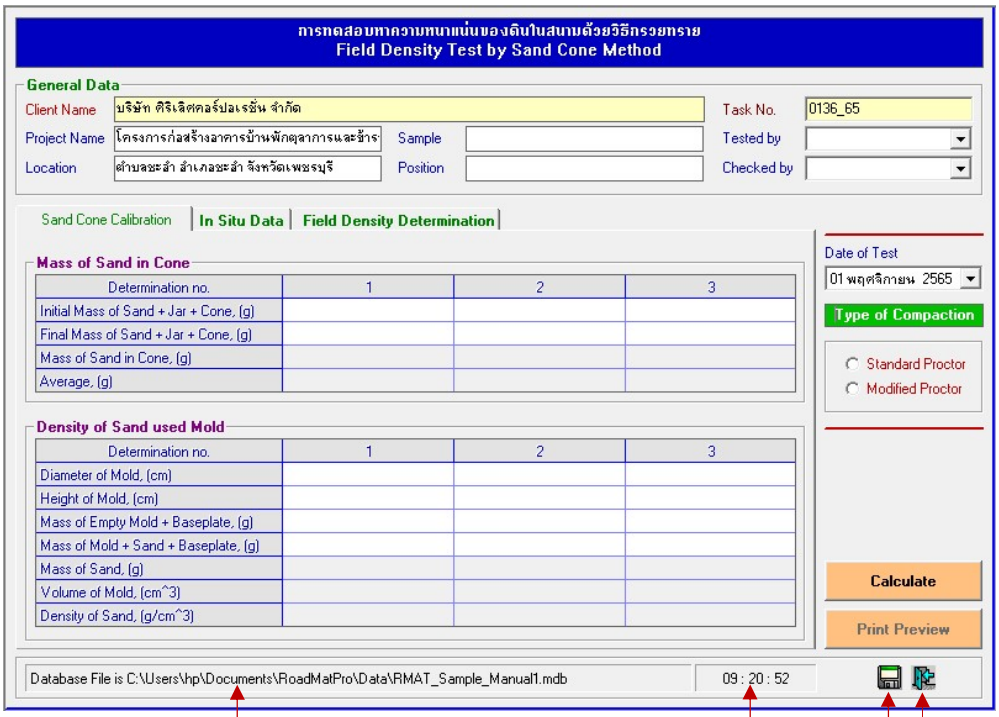
ตำแหน่งจุดทดสอบ	1	2	3	4	5	6
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (กรัม/ลบ.ซม.)	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15

การป้อนข้อมูล

หลังจากสร้างไฟล์ข้อมูลแล้ว การใช้งานโปรแกรมจะเริ่มต้นจากการป้อนข้อมูล มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เลือกเมนูว่าจะวิเคราะห์และประมวลผลตัวอย่างชนิดใด Soil (ดิน) หรือ Crushed Rock (หินคลุก) ในที่นี้เลือก Soil ใช้เมาส์คลิกที่เมนู Soil จะปรากฏหน้าจอดังรูปข้างล่าง โดยจะดึงข้อมูลชื่อบริษัทหรือผู้ว่าจ้าง เลขที่งาน ชื่อโครงการ และสถานที่ตั้งโครงการ จากฐานข้อมูลที่ได้ป้อนไว้แล้วตอนสร้างไฟล์ใหม่ ดังแสดงในรูปข้างล่าง ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้โดยการคลิกและพิมพ์ข้อมูลใหม่ในช่องที่ต้องการ แล้วกดปุ่ม Enter เพื่อเลื่อนไปยังช่องถัดไป

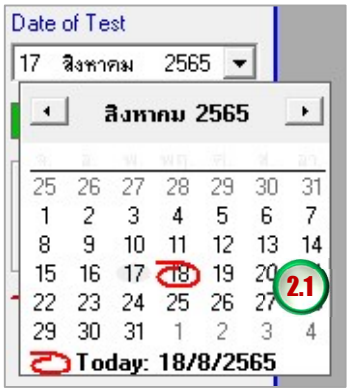




สำหรับการป้อนข้อมูลต่าง ๆ จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

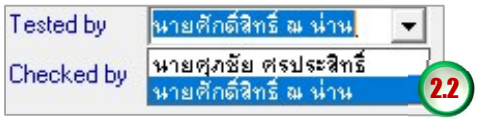
2. ป้อนข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

- ตัวอย่างทดสอบ (Sample) ป้อนชื่อตัวอย่าง เช่น ดินลูกรัง Silty Sand เป็นต้น
- ตำแหน่งทดสอบ (Position) ป้อนตำแหน่งทดสอบ เช่น ช่วง กม. 0+081 - 0+000 เป็นต้น
- วันที่ทดสอบ (Date of Test)



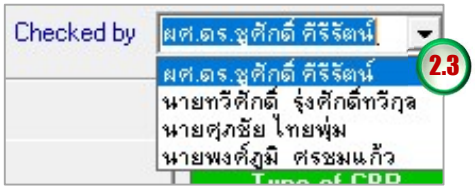
โปรแกรมจะแสดงวันที่ปัจจุบัน
สามารถเลือกเปลี่ยนวันที่ได้

- ผู้ทดสอบ (Tested by)



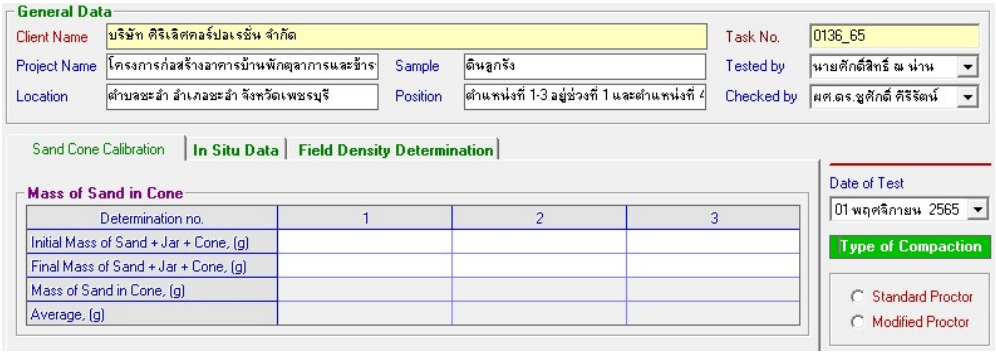
สามารถคลิกเลือกจากรายการ
หรือพิมพ์ชื่อลงไปได้เลย

- ผู้ตรวจสอบ (Checked by)

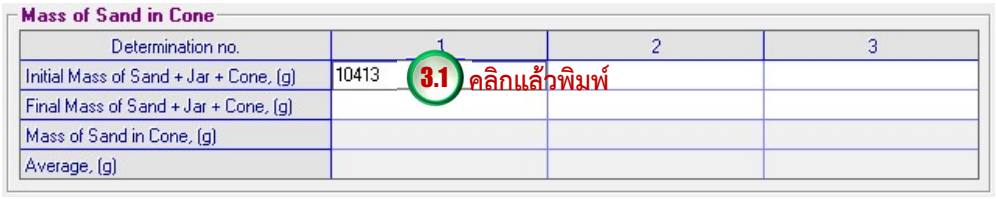


สามารถคลิกเลือกจากรายการ
หรือพิมพ์ชื่อลงไปได้เลย

เมื่อป้อนข้อมูลเบื้องต้นเสร็จแล้วจะได้ดังรูปด้านล่าง และเมื่อคลิกปุ่มบันทึก ข้อมูลจะถูกจัดเก็บไว้ในไฟล์ทันที

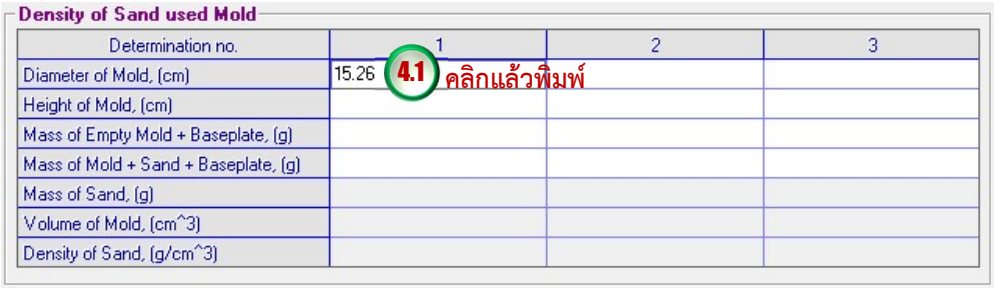


3. ป้อนข้อมูลการสอบเทียบเพื่อหามวลของทรายในกรวย โดยการใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้

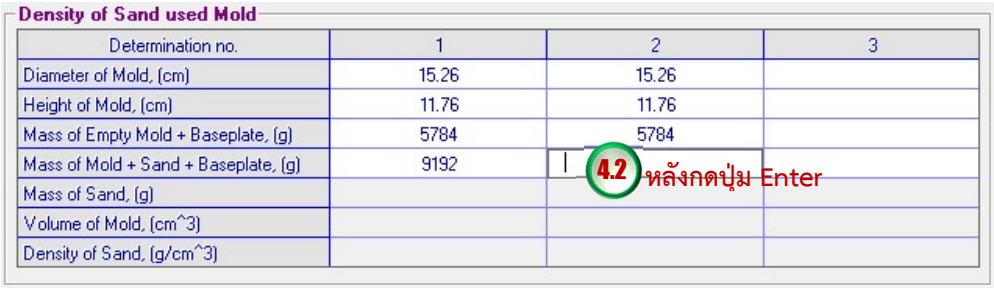


เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว

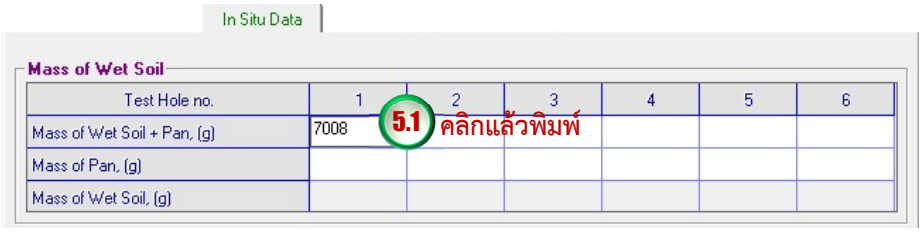
4. ป้อนข้อมูลสอบเทียบเพื่อหาความหนาแน่นแห้งของทรายด้วยโมล โดยการใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้



เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว

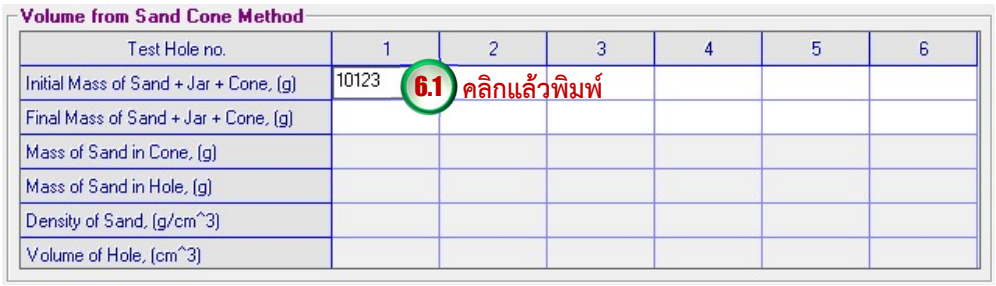


5. คลิกที่แท็บ In Situ Data แล้วป้อนข้อมูลเพื่อหามวลของดินเปียกจากการขุดหลุมทดสอบแต่ละตำแหน่งในสนาม โดยการใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้

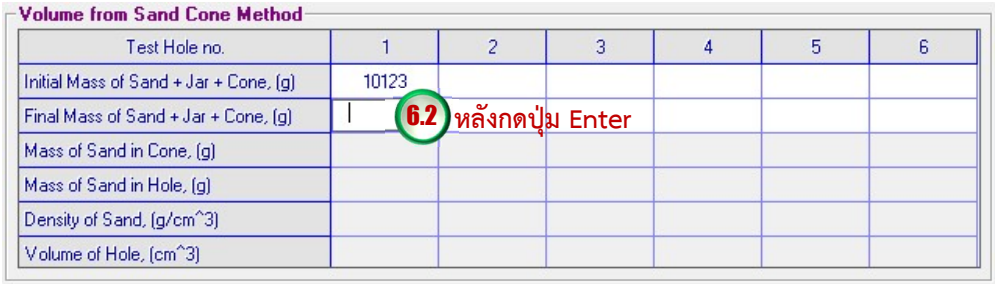


เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว

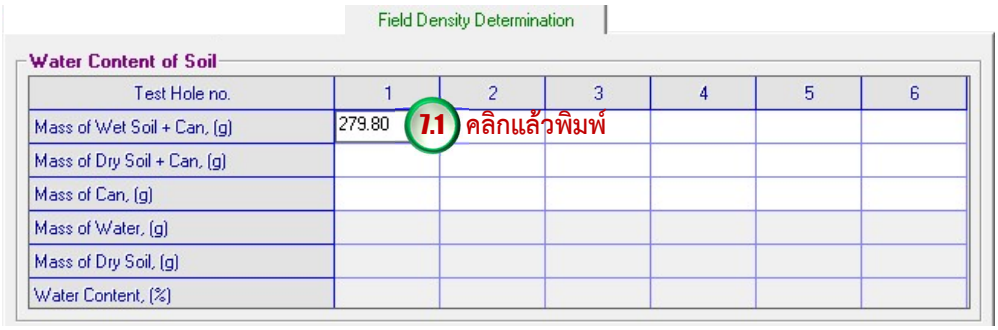
6. ป้อนข้อมูลเพื่อหาปริมาตรของหลุมขุดทดสอบแต่ละตำแหน่งในสนาม โดยการใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้



เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว



7. คลิกที่แท็บ Field Density Determination แล้วป้อนข้อมูลเพื่อหาปริมาณความชื้นของดินเปียกที่ขุดจากหลุมทดสอบแต่ละตำแหน่งในสนาม โดยการใช้เมาส์คลิกลงในช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้



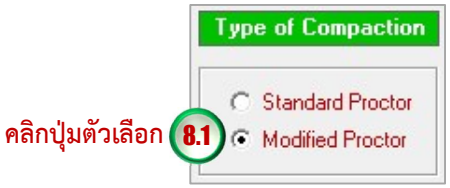
เมื่อป้อนเสร็จให้กดปุ่ม Enter เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ป้อน แล้วป้อนข้อมูลถัดไปจนครบ โดยข้อมูลที่ต้องป้อนจะเป็นช่องที่มีพื้นหลังสีขาว

Water Content of Soil

Test Hole no.	1	2	3	4	5	6
Mass of Wet Soil + Can, (g)	279.80	259.85	263.84			
Mass of Dry Soil + Can, (g)	267.42	250.73				
Mass of Can, (g)	43.75	43.92				
Mass of Water, (g)						
Mass of Dry Soil, (g)						
Water Content, (%)						

7.2 หลังกดปุ่ม Enter

8. คลิกเลือกชนิดของการบดอัดจากปุ่มตัวเลือก แล้วโปรแกรมจะดึงข้อมูลค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (MDD) จากไฟล์ฐานข้อมูลในกรณีที่ได้มีการประมวลผลการทดสอบการบดอัดมาแล้วมาแสดงดังรูปข้างล่าง โดยจะแสดงค่าก็ต่อเมื่อได้ป้อนข้อมูลครบตามข้อ 5-7 ของแต่ละตำแหน่งทดสอบ สำหรับกรณีที่ยังไม่ได้ประมวลผลการทดสอบการบดอัดมาก่อน สามารถป้อนค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดได้โดยการคลิกช่องตารางที่ต้องการป้อนข้อมูล ดังนี้



Summary (Percent Compaction for Modified Compaction)

Test Hole no.	1	2	3	4	5	6
MDD from Compation Test, (g/cm^3)	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Wet Density in Field, (g/cm^3)						
Dry Density in Field, (g/cm^3)	กรณีที่ได้มีการประมวลผลการทดสอบการบดอัดมาแล้ว					
Percent Compaction, (%)						

Summary (Percent Compaction for Modified Compaction)

Test Hole no.	1	2	3	4	5	6
MDD from Compation Test, (g/cm^3)	2.15					2.15
Wet Density in Field, (g/cm^3)						
Dry Density in Field, (g/cm^3)	กรณีที่ไม่ได้มีการประมวลผลการทดสอบการบดอัดมาก่อน					
Percent Compaction, (%)						

8.2 คลิกพิมพ์ แล้วกดปุ่ม Enter ป้อนจนครบ

การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลสามารถดำเนินการได้ตลอดการใช้งาน โดยคลิกปุ่มบันทึก ซึ่งข้อมูลจะถูกจัดเก็บในไฟล์ฐานข้อมูลเฉพาะข้อมูลที่ป้อนเท่านั้น ผู้ใช้งานควรบันทึกข้อมูลก่อนการประมวลผลทุกครั้ง เนื่องจากจะทำให้สามารถเรียกดูข้อมูลการทดสอบย้อนหลังได้

การคำนวณ

การคำนวณผลการทดสอบโดยโปรแกรมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การหามวลของของทรายในกรวย (Mass of Sand in Cone, M_{SC})

$$M_{SC} = M_{SC1} - M_{SC2}$$

เมื่อ M_{SC1} = มวลของทรายรวมขวดและกรวยก่อนสอบเทียบ (กรัม)

M_{SC2} = มวลของทรายรวมขวดและกรวยหลังสอบเทียบ (กรัม)

การหาความหนาแน่นแห้งของทราย (Dry Density, $\rho_{d(sand)}$)

$$\rho_{d(sand)} = \frac{M_S}{V}$$

เมื่อ M_S = มวลของของทรายแห้งที่อยู่ในโมล (กรัม)

V = ปริมาตรของโมล (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

$$= H * \frac{\pi * D^2}{4}$$

H = ความสูงของโมล (เซนติเมตร)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของโมล (เซนติเมตร)

การหามวลของทรายที่อยู่ในหลุมขุดทดสอบ (Mass of Sand in Hole, M_{SH})

$$M_{SH} = M_{SCB} - M_{SCF} - M_{SC}$$

เมื่อ M_{SCB} = มวลของทรายรวมขวดและกรวยก่อนทดสอบ (กรัม)

M_{SCF} = มวลของทรายรวมขวดและกรวยหลังทดสอบ (กรัม)

M_{SC} = มวลของของทรายในกรวย (กรัม)

การหาปริมาตรของหลุมขุดทดสอบ (Volume of Hole, V_H)

$$V_H = \frac{M_{SH}}{\rho_{d(sand)}}$$

เมื่อ M_{SH} = มวลของของทรายที่อยู่ในหลุมขุดทดสอบ (กรัม)

$\rho_{d(sand)}$ = ความหนาแน่นแห้งของทราย (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

การหาปริมาณความชื้น (Water Content, w)

$$w = \frac{M_{CW} - M_{CD}}{M_{CD} - M_C} \times 100$$

เมื่อ M_{CW} = มวลของกระป๋องรวมดินเปียก (กรัม)

M_{CD} = มวลของกระป๋องรวมดินแห้ง (กรัม)

M_C = มวลของกระป๋อง (กรัม)

การหาความหนาแน่นเปียกของดิน (Wet Density, ρ)

$$\rho = \frac{M_{WP} - M_P}{V_H}$$

เมื่อ M_{WP} = มวลของดินขุดรวมภาชนะ (กรัม)

M_P = มวลของภาชนะ (กรัม)

V_H = ปริมาตรของหลุมขุดทดสอบ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

การหาความหนาแน่นแห้งของดินในสนาม (Dry Density, $\rho_{d(field)}$)

$$\rho_{d(field)} = \frac{\rho}{(1 + w / 100)}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นเปียกของดิน (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

w = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

การหาร้อยละการบดอัด (Percent Compaction, PC)

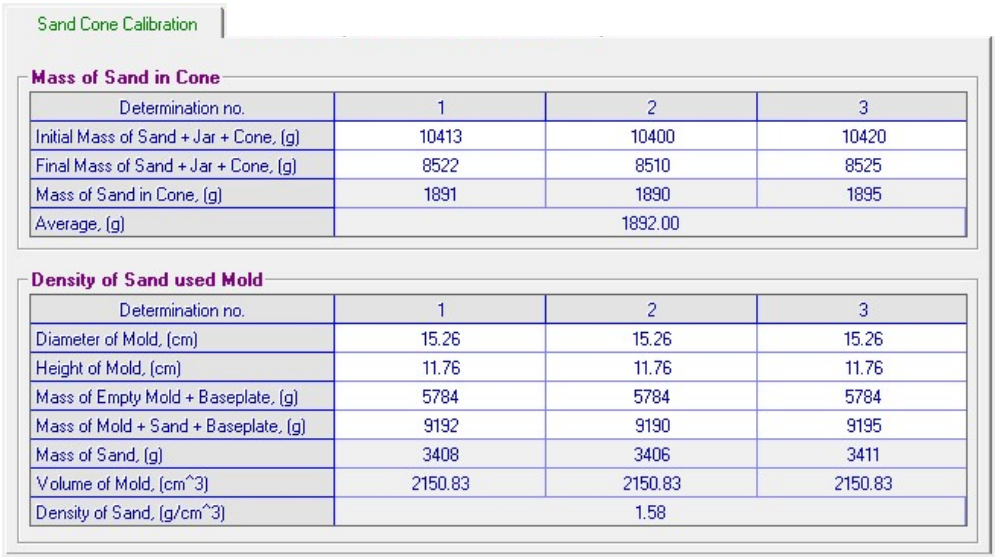
$$PC = \frac{\rho_{d(field)}}{\rho_{d(max)}} \times 100$$

เมื่อ $\rho_{d(field)}$ = ความหนาแน่นแห้งของดินในสนาม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

$\rho_{d(max)}$ = ความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดิน (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

การประมวลผลของโปรแกรม

เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้วให้คลิกปุ่ม Calculate โปรแกรมจะประมวลผลการทดสอบและแสดงผลการคำนวณในตารางที่ป้อนข้อมูลไว้แล้วที่มีพื้นหลังสีเทา ดังนี้



Sand Cone Calibration

Mass of Sand in Cone

Determination no.	1	2	3
Initial Mass of Sand + Jar + Cone, (g)	10413	10400	10420
Final Mass of Sand + Jar + Cone, (g)	8522	8510	8525
Mass of Sand in Cone, (g)	1891	1890	1895
Average, (g)		1892.00	

Density of Sand used Mold

Determination no.	1	2	3
Diameter of Mold, (cm)	15.26	15.26	15.26
Height of Mold, (cm)	11.76	11.76	11.76
Mass of Empty Mold + Baseplate, (g)	5784	5784	5784
Mass of Mold + Sand + Baseplate, (g)	9192	9190	9195
Mass of Sand, (g)	3408	3406	3411
Volume of Mold, (cm^3)	2150.83	2150.83	2150.83
Density of Sand, (g/cm^3)		1.58	

In Situ Data

Mass of Wet Soil

Test Hole no.	1	2	3	4	5	6
Mass of Wet Soil + Pan, (g)	7008	7125	7143	7098	7069	7117
Mass of Pan, (g)	434	434	434	434	434	434
Mass of Wet Soil, (g)	6574	6691	6709	6664	6635	6683

Volume of Hole from Sand Cone Method

Test Hole no.	1	2	3	4	5	6
Initial Mass of Sand + Jar + Cone, (g)	10123	10230	10280	10198	10152	10133
Final Mass of Sand + Jar + Cone, (g)	3424	3452	3475	3436	3429	3436
Mass of Sand in Cone, (g)	1892.00	1892.00	1892.00	1892.00	1892.00	1892.00
Mass of Sand in Hole, (g)	4807	4886	4913	4870	4831	4805
Density of Sand, (g/cm^3)	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58
Volume of Hole, (cm^3)	3042.41	3092.41	3109.49	3082.28	3057.59	3041.14

Field Density Determination

Water Content of Soil

Test Hole no.	1	2	3	4	5	6
Mass of Wet Soil + Can, (g)	279.80	259.85	263.84	284.41	274.52	268.47
Mass of Dry Soil + Can, (g)	267.42	250.73	252.35	272.38	262.91	256.42
Mass of Can, (g)	43.75	43.92	42.87	42.49	43.25	42.35
Mass of Water, (g)	12.38	9.12	11.49	12.03	11.61	12.05
Mass of Dry Soil, (g)	223.67	206.81	209.48	229.89	219.66	214.07
Water Content, (%)	5.53	4.41	5.49	5.23	5.29	5.63

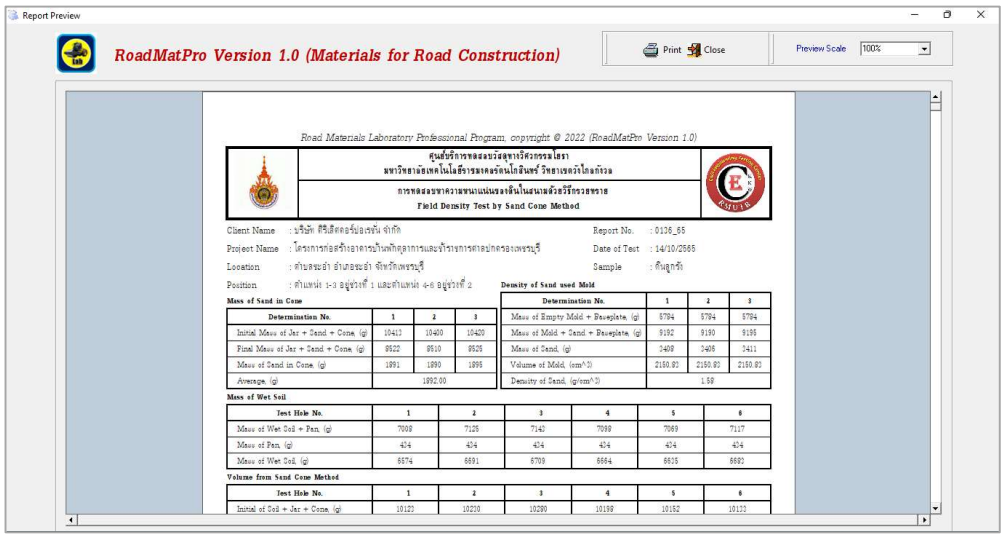
Summary (Percent Compaction for Modified Compaction)

Test Hole no.	1	2	3	4	5	6
MDD from Compation Test, (g/cm^3)	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Wet Density in Field, (g/cm^3)	2.16	2.16	2.16	2.16	2.17	2.20
Dry Density in Field, (g/cm^3)	2.05	2.07	2.05	2.05	2.06	2.08
Percent Compaction, (%)	95.35	96.28	95.35	95.35	95.81	96.74

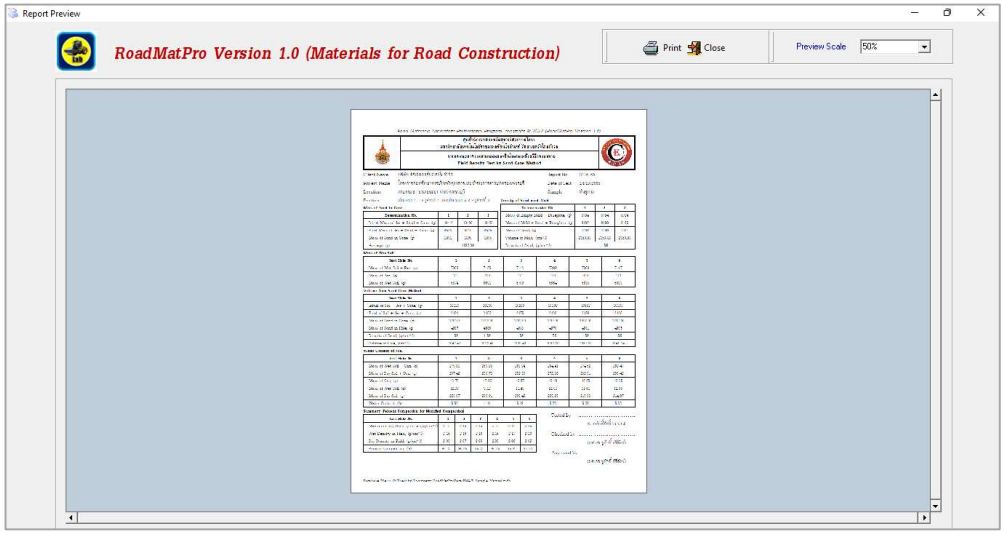
การรายงานผลทางเครื่องพิมพ์

เมื่อประมวลผลการทดสอบแล้ว สามารถรายงานผลทางเครื่องพิมพ์ได้โดยมีขั้นตอนดังนี้

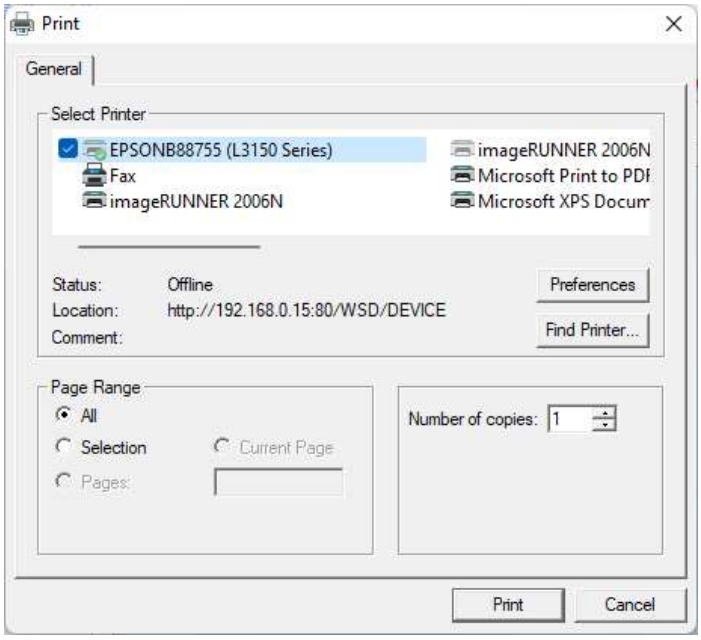
1. คลิกปุ่ม **Print Preview** หน้าจอจะแสดงภาพตัวอย่างก่อนพิมพ์ดังรูปข้างล่าง



สามารถดูภาพตัวอย่างก่อนพิมพ์ที่ขนาดร้อยละ 50 และร้อยละ 75 ได้ ซึ่งผลจากการเลือกให้แสดงขนาดที่ร้อยละ 50 Preview Scale 50% ดังแสดงในรูปข้างล่าง

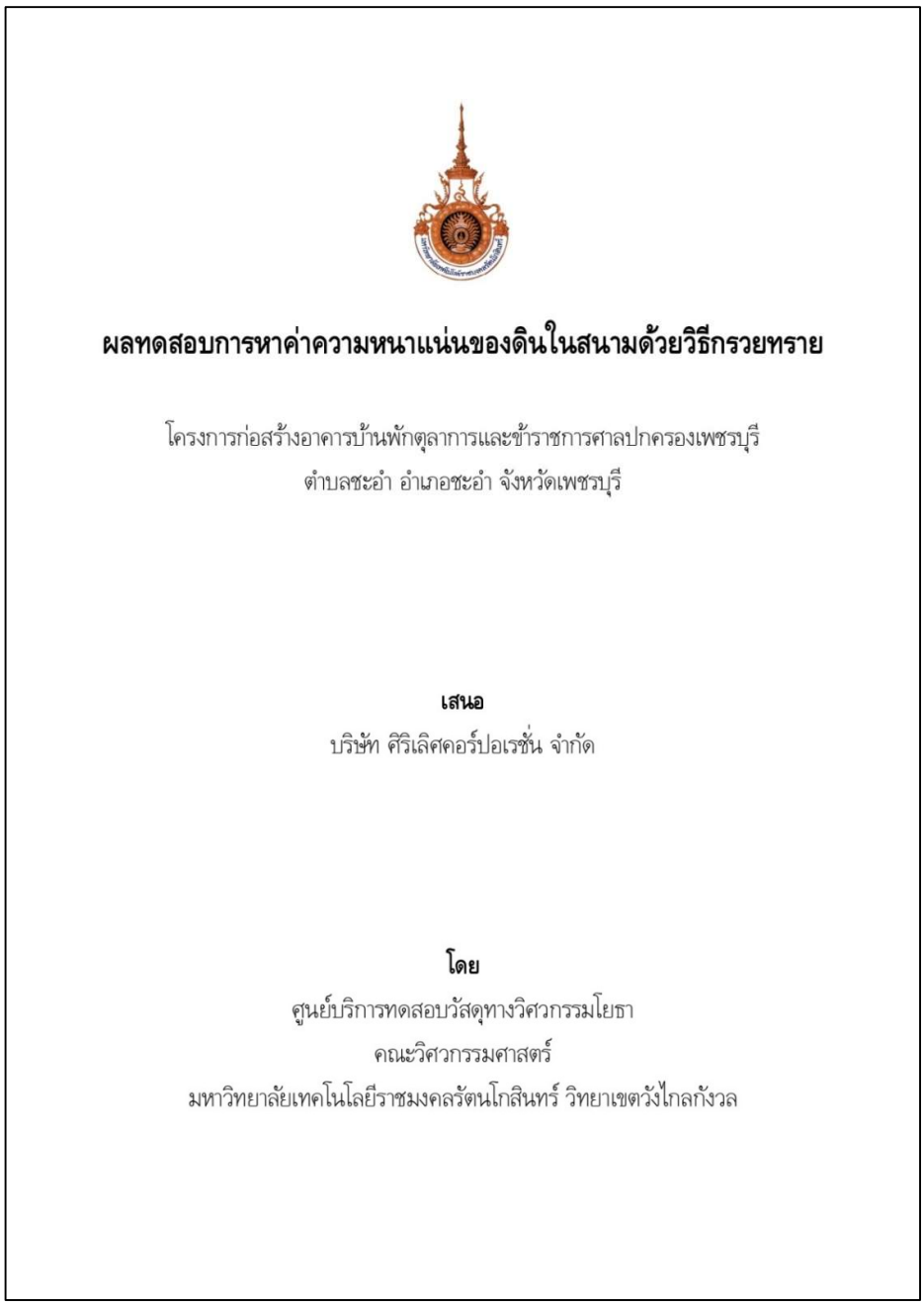


2. คลิกปุ่ม Print เพื่อสั่งให้พิมพ์รายงานผลการทดสอบออกทางเครื่องพิมพ์ โดยสามารถเลือกเครื่องพิมพ์ได้ตามต้องการดังรูปข้างล่าง แล้วคลิกปุ่มพิมพ์ หากต้องการปิดหน้าจอให้คลิกปุ่ม Close



3. ผลจากการสั่งพิมพ์ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนามดังตัวอย่างต่อไปนี้

3.1 ใบปกรายงานผลการทดสอบ



ผลทดสอบการหาค่าความหนาแน่นของดินในสนามด้วยวิธีกรวยทราย

โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

เสนอ
บริษัท ศิริเลิศคอร์ปอเรชั่น จำกัด

โดย
ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

3.2 ตัวอย่างรายงานผลการหาความหนาแน่นของดินในสนาม

Road Materials Laboratory Professional Program, copyright @ 2022 (RoadMatPro Version 1.0)

ศูนย์บริการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

การทดสอบความหนาแน่นของดินในสนามด้วยวิธีกรวยทราย
Field Density Test by Sand Cone Method

Client Name : บริษัท ศิริเลิศคอร์ปอเรชั่น จำกัด
Project Name : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักตุลาการและข้าราชการศาลปกครองเพชรบุรี
Location : ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี
Position : ตำแหน่ง 1-3 อยู่ช่วงที่ 1 และตำแหน่ง 4-6 อยู่ช่วงที่ 2

Report No. : 0136_65
Date of Test : 14/10/2565
Sample : ดินลูกรัง

Mass of Sand in Cone

Determination No.	1	2	3
Initial Mass of Jar + Sand + Cone, (g)	10413	10400	10420
Final Mass of Jar + Sand + Cone, (g)	8522	8510	8525
Mass of Sand in Cone, (g)	1891	1890	1895
Average, (g)	1892.00		

Density of Sand used Mold

Determination No.	1	2	3
Mass of Empty Mold + Baseplate, (g)	5784	5784	5784
Mass of Mold + Sand + Baseplate, (g)	9192	9190	9195
Mass of Sand, (g)	3408	3406	3411
Volume of Mold, (cm^3)	2150.83	2150.83	2150.83
Density of Sand, (g/cm^3)	1.58		

Mass of Wet Soil

Test Hole No.	1	2	3	4	5	6
Mass of Wet Soil + Pan, (g)	7008	7125	7143	7098	7069	7117
Mass of Pan, (g)	434	434	434	434	434	434
Mass of Wet Soil, (g)	6574	6691	6709	6664	6635	6683

Volume from Sand Cone Method

Test Hole No.	1	2	3	4	5	6
Initial of Soil + Jar + Cone, (g)	10123	10230	10280	10198	10152	10133
Final of Soil + Jar + Cone, (g)	3424	3452	3475	3436	3429	3436
Mass of Sand in Cone, (g)	1892.00	1892.00	1892.00	1892.00	1892.00	1892.00
Mass of Sand in Hole, (g)	4807	4886	4913	4870	4831	4805
Density of Sand, (g/cm^3)	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58
Volume of Hole, (cm^3)	3042.41	3092.41	3109.49	3082.28	3057.59	3041.14

Water Content of Soil

Test Hole No.	1	2	3	4	5	6
Mass of Wet Soil + Can, (g)	279.80	259.85	263.84	284.41	274.52	268.47
Mass of Dry Soil + Can, (g)	267.42	250.73	252.35	272.38	262.91	256.42
Mass of Can, (g)	43.75	43.92	42.87	42.49	43.25	42.35
Mass of Wet Soil, (g)	12.38	9.12	11.49	12.03	11.61	12.05
Mass of Dry Soil, (g)	223.67	206.81	209.48	229.89	219.66	214.07
Water Content, (%)	5.53	4.41	5.49	5.23	5.29	5.63

Summary (Percent Compaction for Modified Compaction)

Test Hole No.	1	2	3	4	5	6
Max. Dry Density in Lab,(g/cm^3)	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Wet Density in Field, (g/cm^3)	2.16	2.16	2.16	2.16	2.17	2.20
Dry Density in Field, (g/cm^3)	2.05	2.07	2.05	2.05	2.06	2.08
Percent Compaction, (%)	95.35	96.28	95.35	95.35	95.81	96.74

Tested by .....
(นายศักดิ์สิทธิ์ ณ น่าน)

Checked by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Approved by .....
(ผศ.ดร.ชูศักดิ์ คีรีรัตน์)

Database File is C:\Users\hp\Documents\RoadMatPro\Data\RMAT_Sample_Manual.mdb

บรรณานุกรม

ชูศักดิ์ คีรีรัตน์. (2554). *ปฐพีกลศาสตร์*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป.

ชูศักดิ์ คีรีรัตน์. (2565). *วิธีการทางคอมพิวเตอร์สำหรับวิศวกร*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศลิษา ไชยพุทธ และแหลมทอง เหล่าคงถาวร. (2563). *ปฐพีกลศาสตร์ : ทฤษฎี และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

American Association of State Highway and Transportation Officials (1982). *AASHTO Materials*. Part I. Specifications. Washington, D.C.: AASHTO Officials.

American Society for Testing and Materials (2019). *Annual Book of ASTM Standards*. Sec. 4, Vol. 04.08. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.

Bowles, J.E. (2001). *Engineering Properties of Soils and theirs Measurement*. 4th Edition. New York: McGraw-Hill.

Budhu, M. (2015). *Soil Mechanics Fundamentals*. West Sussex: John Wiley & Sons.

Das, B.M. and Sobhan, K. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering*. 9th Edition. Australia: Cengage Learning.

Day, R.W. (2012). *Soil Mechanics and Foundations*. New York: McGraw-Hill.

Fratta, D., Ahuettant, J. and Russei-Smith, L. (2007). *Soil Mechanics Laboratory Testing*. Boca Raton: CRC Press.

Washington State Department of Transportation (2022). *Materials Manual*. M 46-01.41. Washington, D.C.: WSDOT Materials Laboratory.

RoadMatPro