บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ความหมายของวิธีบูรณะทางหลวงแบบวิธีเสริมพื้นทาง (Rehabilitation of Base Course)

วิธีบูรณะทางหลวงแบบวิธีเสริมพื้นทาง (Rehabilitation of Base Course) เป็นงานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์ที่ต้องทำการซ่อมแซมในชั้นโครงสร้างชั้นทางที่เกิดความเสียหายได้แก่ ชั้นพื้นทาง (Base Coures) ชั้นรองพื้นทาง (Subbase) ชั้นวัสดุคัดเลือก (Selected Materrials) ชั้นดันทาง (Subgrade) หรือชั้นอื่นใดที่อยู่ใต้ชั้นผิวทางถ้าเกิดความเสียหายเกิดขึ้นถึงชั้นใดก็ต้องซ่อมแซมความเสียหายในชั้นนั้นก่อน ลักษณะความเสียหายที่จะต้องทำการขุดซ่อมผิวทางแอสฟัลต์ เช่น รอยแตกแบบหนังจระเข้ การบวมแดก ผิวหลุดร่อน หลังจกนั้นจึงจะทำการซ่อมแซมชั้นผิวทางได้

2.1.1วัสดุ

2.1.1.1 วัสดุสำหรับซ่อมชั้นผิวทาง ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานงานทาง กรมทางหลวงดังต่อไปนี้

- พื้นทางหินคลุก ให้เป็นไปตามข้อ 1. วัสดุ ของมาตรฐานงานทาง(มาตรฐานพื้นทางหินคลุก)

2.1.1.2 วัสดุสำหรับซ่อมชั้นรองพื้นทาง ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานงานทาง กรมทางหลวงดังต่อไปนี้

- รองพื้นทางวัสดุมวลรวม ให้เป็นไปตามข้อ 1. วัสดุ ของมาตรฐานงานทาง(มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม)

2.1.1.3 วัสดุสำหรับซ่อมชั้นวัสดุคัดเลือก ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานงานทาง กรมทางหลวงดังต่อไปนี้

- ชั้นวัสดุคัดเลือก ก. ให้เป็นไปตามข้อ 1. วัสดุ ของมาตรฐานงานทาง(มาตรฐานชั้นวัสดุคัดเลือก ก.)
- ชั้นวัสดุคัดเลือก ข. ให้เป็นไปตามข้อ 1. วัสดุ ของมาตรฐานงานทาง(มาตรฐานชั้นวัสดุคัดเลือก ข.)

2.1.1.4 วัสดุสำหรับซ่อมชั้นดันทาง ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานงานทางกรมทางหลวงดังต่อไปนี้

- ดินถมดันทาง ให้เป็นไปตามข้อ 1. วัสดุ ของมาตรฐานงานทาง(มาตรฐานดินถมดันทาง)
- ทรายถมดันทาง ให้เป็นไปตามข้อ 1. วัสดุ ของมาตรฐานงานทาง(มาตรฐานทรายถมดันทาง)
- หินถมดันทางให้เป็นไปตามข้อ 1. วัสดุ ของมาตรฐานงานทาง(มาตรฐานหินถมดันทาง)

มาตราฐานกรมทางกำหนดให้วัสดุหินโม่มวลรวม (Crushed Rock Soil Aggregate Type) ต้องเป็นวัสดุที่มีเนื้อแข็งเหนียว สะอาด ไม่ผุ และปราศจากวัสดุอื่นเจือปน มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ı มีค่าการสึกหรอ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท. 202/2515 "วิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion" ไม่เกินร้อยละ 40

2 มีค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Lose) เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท. 213/2531 "วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม" โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ แล้วไม่เกินร้อยละ 9

หินคลุกจากแหล่งเดิมที่มีหลักฐานแสดงผลการทดลองหาความคงทนว่าใช้ได้อาจจะยกเว้นไม่ต้องทดลองอีกก็ได้ ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของกรมทางหลวง ที่จะใช้ผลการทดลองเดิมที่มีอยู่

3 ส่วนละเอียด (Fine Aggregate) ต้องเป็นวัสดุชนิดและคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับส่วนหยาบ (Coarse Aggregate)

การใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือปนเพื่อปรับปรุงคุณภาพจะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงก่อน

4 มีขนาดคละที่ดี และเมื่อทดลองตามวิธี การทดลองที่ ทล. – ท. 205/2517 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้างต้องมีขนาดใดขนาดหนึ่ง ตามตาราง

5 ส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ต้องไม่มากกว่าสองใน สาม (2/3) ของส่วนละเอียด ที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร (เบอร์ 40)

6 มีค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท. 102/2515 "วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน" ไม่เกิน ร้อยละ 25

7 มีค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท. 103/2515 "วิธีการ ทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index" ไม่เกินร้อยละ 6

2.1.2 เครื่องจักรและเครื่องมือ

เครื่องจักรและเครื่องมือทุกชนิดที่จะนำมาใช้งานต้องมีสภาพดี การนำมาใช้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน เครื่องจักรเครื่องมือมีดังนี้

2.1.2.1 เครื่องผสมวัสดุแอสฟัลต์

- เครื่องผสมวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต ต้องมีกำลังการผลิตพอเพียงสำหรับการทำงานปรับปรุงซ่อมผิวทางแอสฟัลต์ เครื่องผสมนี้จะต้องมีสภาพใช้งานได้ดีและมีเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ เพื่อควบคุมการผลิตวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตให้มีคุณภาพ
- เครื่องผสมวัสดุมวลรวมผสมเย็นด้วยแอสฟัลต์อิมัลชันหรือแบกแอสฟัลต์ เช่น โรงงานผสม เครื่องผสมคอนกรีต ต้องมีกำลังการผลิตเพียงพอสำหรับการทำงานขุดซ่อมผิวทางแอสฟัลต์ เครื่องผสมต่างๆ จะต้องมีสภาพใช้งานได้ดีและมีเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ เพื่อควบคุมการผลิตวัสดุมวลรวมผสมเย็นด้วยแอสฟัลต์อิมัลชันหรือคัตแบกแอสฟัลต์ที่มีคุณภาพ

2.1.2.2 รถบรรทุก (Haul Tauck) ใช้ขนส่งวัสดุต่างๆ ต้องจัดให้มีจำนวนเพียงพอกับการใช้งาน

2.1.2.3 เครื่องปู (Paver or Finisher) ถ้าจำเป็นต้องนำมาใช้งานต้องเป็นแบบขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเอง มีกำลังมากพอและควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ได้อย่างสม่ำเสมอ

2.1.2.4 รถเกลี่ยปรับระดับ (Motor Grader) ถ้าจำเป็นต้องนำมาใช้งานจะต้องเป็นชนิดขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเอง

2.1.2.5 เครื่องจักรบทอัด ทุกชนิดจะต้องขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเอง หากไม่ได้ระบุเป็นอย่างอื่นให้มีคุณสมบัติดังนี้

- รถบดล้อเล็ก 2 ล้อ (Steel-Tired Roller) มีขนาดน้ำหนักไม่น้อยกว่า 8 ตัน และสามารถเพิ่มน้ำหนักได้จนถึงไม่น้อยกว่า 10 ตัน สามารถขับเคลื่อนเดินหน้าและถอยหลังได้เรียบสม่ำเสมอ
- รถบดล้อยาง (Pneumatic-Tired Roller) ต้องมีขนาดน้ำหนักไม่น้อยกว่า 10 ตันล้อรถบดเป็นชนิดผิวหน้าเรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขอบล้อไม่น้อยกว่า 500 มิลลิเมตร ผิวหน้าล้อยางกว้างไม่น้อยกว่า 225 มิลลิเมตร ขนาดและจำนวนชั้นผ้าใบเท่ากันทุกล้อ มีระบบฉีดน้ำและ อุปกรณ์คราดผิวล้อ
- รถบดสั่นสะเทือน (Vibratory Roller) มีขนาดน้ำหนักไม่น้อยกว่า 6 ตัน สามารถบดทับโดยการเดินหน้าและถอยหลังได้เรียบสม่ำเสมอ
- รถบดล้อเหล็กขนาดเบา หรือรถบดสั่นสะเทือนขนาดเบา เพื่อสำหรับการบดอัดในพื้นที่ที่เครื่องจักรขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าบดอัดได้

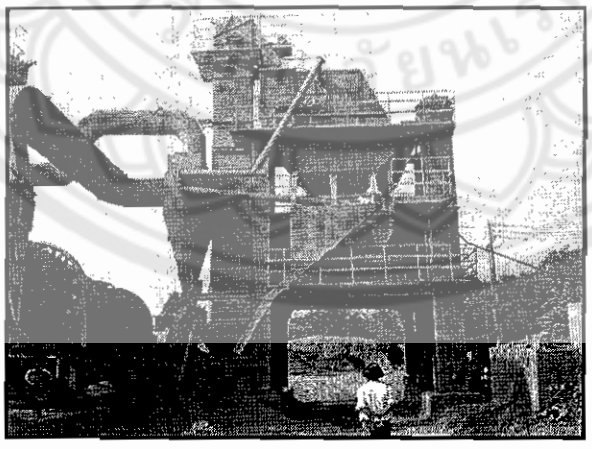
2.1.2.6 เครื่องพ่นแอสฟัลต์ (Asphalt Distributor) สำหรับใช้งาน Prime Coat ต้องเป็นไปตามมาตรฐานงานทางหลวงที่ ทล.-ม. 408 มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต

2.1.2.7 เครื่องกวาดฝุ่น (Rotary Broom) อาจเป็นแบบลาก แบบขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเอง

2.1.2.8 เครื่องเป่าลม (Blower) เป็นแบบติดตั้งที่รถไถนาหรือรถอื่นใด

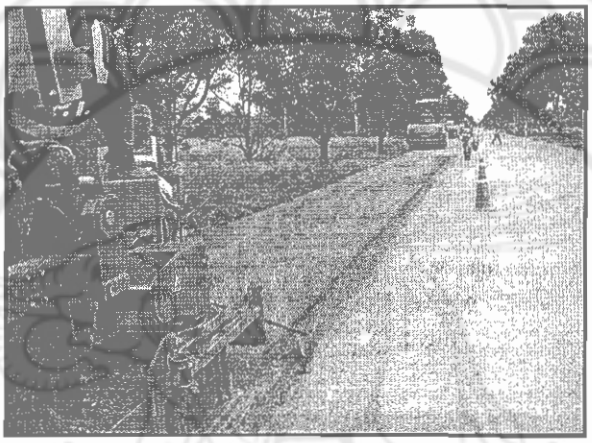
2.1.2.9 รถบรรทุกน้ำ (Water Truck) ต้องมีให้เพียงพอกับหน้างาน

2.1.2.10 เครื่องมือประกอบ ได้แก่ เครื่องมือกระทุ้ง ไม้บรรทัดวัดความเรียบ และอุปกรณ์อื่นๆที่จำเป็น

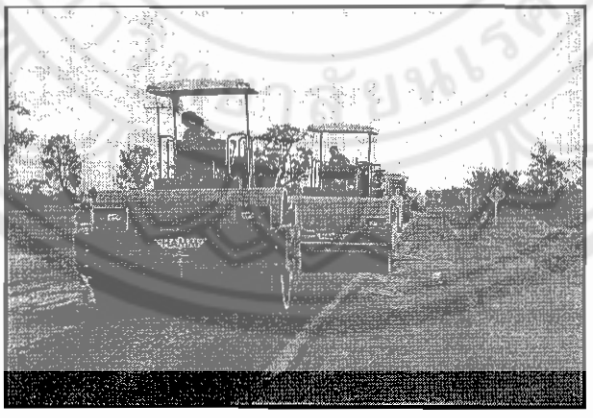


รูปที่ 2-1 เครื่องผสมวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต

รูปที่ 2-2 รถบรรทุก (Haul Tauck)



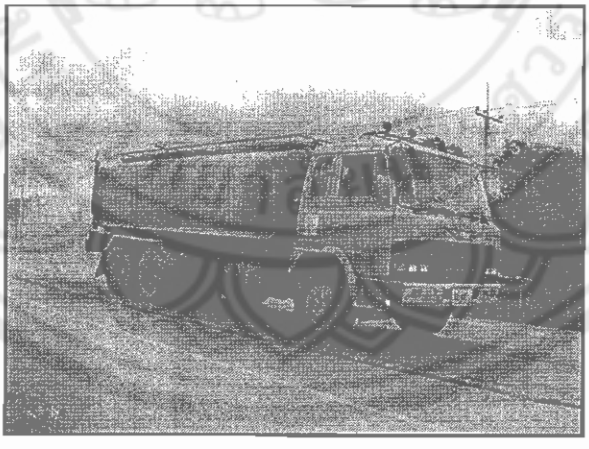
รูปที่ 2-3 รถเกลี่ยปรับระดับ (Motor Grader)



รูปที่ 2-4 เครื่องจักรบทอัด

รูปที่ 2-4 เครื่องพ่นแอสฟัลต์ (Asphalt Distributor)

รูปที่ 2-5 เครื่องเป่าลม



รูปที่ 2-6 รถบรรทุกน้ำ

2.2 ความหมายของ Pavement In-Place Recycling

การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ในที่ Pavement In-Place Recycling หมายถึงการนำวัดสุจากชั้นทางเดิมมาปรับปรุงคุณภาพให้สูงขึ้น แล้วนำไปใช้งานใหม่ โดยให้มีคุณภาพตามรูปแบบและข้อกำหนด ในการนี้อาจจะเพิ่มเติมวัสดุผสมเพิ่มเข้าไปใหม่เพื่อปรับปรุงขนาด คละและเพิ่มปริมาณ เช่น หิน ทราย วัสดุมวลรวม (Soil Aggregate) หรือวัสดุอื่นๆ โดยมีวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (Stabilizing Agents) เช่น ปูนซีเมนต์ ปูนขาว แอสฟัลต์ และส่วนผสมเพิ่ม (Admixture) อื่นใด โดยจะทำการปรับปรุงในที่ (In-Place) โดยจะต้องก่อสร้างให้ถูกต้องตามขั้นตอนและปิดทับด้วยชั้นก่อสร้างอื่นๆ ในการปรับปรุงคุณภาพชั้นทางอาจทำการปรับปรุงเพียงชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้

2.2.1 วัสดุ

2.2.1.I วัสดุชั้นทางเดิม

- วัสดุชั้นทางเดิมเพียงชั้นเดียว หรือเป็นชั้นทางที่มีการผสมกันระหว่างชั้นต่างๆ ที่อยู่ติดกันอาจเป็นการผสมกันระหว่างชั้นทางกับชั้นของผิวทางชนิดต่างๆ ที่สามารถทำการขูดใส (Milling) ให้วัสดุส่วนผสมเข้ากันได้ง่าย

2.2.1.2 วัสดุเพิ่มเติม

- ต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสม สามารถนำมาผสมกับชั้นทางเดิมได้ดี เพื่อทำให้คุณสมบัติโดยรวมทางวิศวกรรมของส่วนที่ผสมแล้วมีความแข็งแรง หรือตามความต้องการของผู้ออกแบบระบุ
- วัสดุผสมเพื่อปรับปรุงขนาดคละ หรือเพิ่มปริมาณวัสดุ เช่น หิน ทราย วัสดุมวลรวม (Soil Aggregate) มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดที่ออกแบบ
- วัสดุผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในการปรับปรุงชั้นพื้นทางเป็นประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามสมาคมวัสดุอเมริกัน (ASTM C 150) และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ม.อ.ก. 15) แบ่งไว้คือ ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศที่รุนแรง หรือในที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษหรือความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตรายที่คอนกรีตจะแตกร้ายเสียหาย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียว และ ตราเพชรเม็ดเดียว

2.2.1.3 น้ำ

น้ำที่จะนำมาใช้ในงานจะต้องสะอาดปราศจากสารไม่พึงประสงค์ต่างๆ เช่น เกลือ น้ำตาล น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรียวัตถุ หรือสารเคมีที่อาจกระทบต่อคุณภาพของวัสดุที่ผสม

2.2.2 หลักเกณฑ์การพิจารณาคัดเลือกสายทางที่ควรดำเนินการโดยวิธีการ Pavement Recycling

-หลักเกณฑ์พิจารณาว่าสายทางที่ควรนำวิธีการ Pavement Recycling มาดำเนินการดังต่อไปนี้

1) สายทางที่ผ่านย่านชุมชน มีระดับสิ่งก่อสร้างอื่นๆ บังคับไว้ เช่น บาทวิถี, สะพาน, สะพานลอยคนเดินข้าม, สะพานลอยกลับรถ, Over Pass และอื่นๆ เป็นต้น

2) สายทางที่เมื่อเสริมความหนาโครงสร้างชั้นทาง แล้วทำให้ต้องทำการขยายความกว้างคันทางเดิม โดยต้องทำ Benching หรือ Cut Back Slope

3) สายทางที่ผ่านบริเวณดินอ่อน และมีปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของตัวคันทาง การเสริมระดับความสูงจะเพิ่มวิกฤติต่อคันทาง

4) สายทางที่มีสภาพความเสียหายบนผิวทางเกินกว่าที่จะแก้ไขด้วยการ Overlay ได้แก่ เป็นร่องล้อลึก, ค่าความแอ่นตัวสูงเกินกว่าที่จะรองรับปริมาณจราจรตลอดอายุบริการที่กำหนดไว้มีพื้นที่รอยแตกและรอยปะจำนวนมากเกินที่จะซ่อมแซมเป็นแห่งๆ ได้

5) สายทางที่มีวัสดุชั้นทางเดิมที่สามารถนำมาออกแบบปรับปรุงเพื่อกลับมาใช้งานใหม่ได้

6) สายทางที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ที่ขาดแคลนวัสดุท้องถิ่น ต้องมีการขนส่งไกลเกินความจำเป็นและราคาค่าวัสดุมีราคาแพงเกินไป

7) สายทางที่ต้นทุนการ Overlay หรือการเสริมความหนาโครงสร้างชั้นทางแล้วมีราคาสูงกว่าการนำวิธี Pavement Recycling มาดำเนินการแทน

8) สายทางที่อยู่ในพื้นที่ที่มีนโยบายอนุรักษ์ธรรมชาติ ภูมิทัศน์ และสิ่งแวดล้อม

2.2.3การสำรวจและเก็บข้อมูล

ในการออกแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้อีก (Cement Recycled Base) เป็นพื้นทาง จะต้องทราบข้อมูลต่างๆ ของถนนที่ใช้งานอยู่เดิมโดยละเอียด ซึ่งมีขั้นตอนเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จำเป็น ดังต่อไปนี้

2.2.3.1 ข้อมูลทางด้านวิศวกรรม

- คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของชั้นโครงสร้าง โดยการทดสอบ Surface Analysis, Atterberg Limits, Field Density, CBR. Modified Proctor

- ความแข็งแรงของโครงสร้าง โดยการทดสอบ Benkelman Beam, Falling Weight Deflectometer, Dynamic Cone Penetrometer

- ปริมาณการจราจร

- ลักษณะของความเสียหาย เช่น ร่องล้อ การแตกร้าว การยุบตัว การหลุดล่อน

2.2.4 การออกแบบส่วนผสม

2.2.4.1 การเตรียมตัวอย่างในการออกแบบส่วนผสม ในงาน Cold Deep In-Place Recycling

1. เก็บตัวอย่างจากการกัดและย่อยจากเครื่องจักร Cold Recycler ปริมาณต้องไม่น้อยกว่า 300 Kg. ควรเก็บทุกจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของวัสดุและความหนา
2. การเก็บตัวอย่างจากการขุดเจาะด้วยแรงคน โดยทั่วไปจะอยู่ในแนวล้อด้านนอก มีขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1.20 เมตร ลึกตามความหนาที่ออกแบบไว้ โดยจะเก็บแยกวัสดุของแต่ละชั้นออกจากกัน และปริมาณของแต่ละชั้นไม่น้อยกว่า 150 Kg.ควรเก็บทุกจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของวัสดุและความหนา

2.2.4.2 วิธีการออกแบบส่วนผสม

1. หาคุณสมบัติของวัสดุชั้นทางเดิมก่อนปรับปรุง ดังนี้

ผสมตัวอย่าง (Sample Blending) ผสมตัวอย่างแต่ละชั้นเข้าด้วยกัน ตามสัดส่วนความหนาชั้นทางแต่ละชั้นตามรูปแบบกำหนด โดยนำความหนาในสนามของแต่ละชั้นทางมาร่วมพิจารณาในการผสมตัวอย่างดังนี้

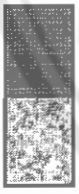
5.0 ซม. ผิวทาง AC. เดิม

\+ ซีเมนต์ =

Cement Recycled Base 20 cm

15.0 ซม. พื้นทางหินคลุก

เป็นการออกแบบโครงสร้างผิวทางเดิมหนา 5.0 เซนติเมตรกับชั้นพื้นทางหินคลุก 15.0 เซนติเมตรผสมกับซีเมนต์จะได้ชั้นทางเดิมหนาที่ปรับปรุงวัสดุชั้นพื้นหนา 20 เซนติเมตร



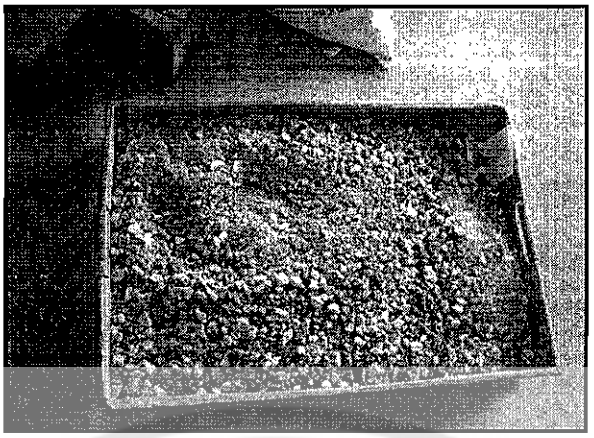
10.0 ซม. ผิวทาง AC. เดิม

\+ ซีเมนต์ =

Cement Recycled Base 20 cm

10.0 ซม. พื้นทางหินคลุก

เป็นการออกแบบโครงสร้างผิวทางเดิมหนา 10.0 เซนติเมตรกับชั้นพื้นทางหินคลุก 10.0 เซนติเมตรผสมกับซีเมนต์จะได้ชั้นทางเดิมหนาที่ปรับปรุงวัสดุชั้นพื้นหนา 20 เซนติเมตร



รูปที่ 2-7 การผสมระหว่างชั้นทางเดิมและผิวทางที่ทำการออกแบบ

รูปที่ 2–8 ส่วนผสมของวัสดุต่างๆเช่นหินคลุก ซีเมนต์ ชั้นทางเดิม ในการออกแบบ

ในการนำไปใช้งานในการบูรณะทางหลวงการจะพิจรณาว่าจะใช้รูปแบบไหนในการก่อสร้างจะต้องพิจรณา จากความหนาของชั้นพื้นทางเดิม(AC)

ตารางที่ 2-1: ปริมาณวัสดุแต่ละชั้นที่ผสมตามสัดส่วนความหนาและความแน่น

วัสดุ	วัสดุต่อหนึ่งตารางเมตร (กิโลกรัม)	สัดส่วนโดยมวล (%)	วัสดุตัวอย่าง 10 (กิโลกรัม)
ผิวทางแอสฟัลต์ (5.0 เซนติเมตร ความแน่น 2,400 กก./ลบ.ม.)	0.05 x 2400 = 120	0.26	0.26 x 10.0 = 2.60
พื้นทางหินคลุก (15.0 เซนติเมตร ความแน่น 2,300 กก./ลบ.ม.)	0.15 x 2300 = 345	0.74	0.74 x 10.0 = 7.4
รวม	465	1	10

2. เตรียมตัวอย่างตามสัดส่วน

นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้งและทำการแบ่งตัวอย่างโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง หรือโดยวิธี Quartering ร่อนตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้ทิ้งไปและแทนที่ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง19.0มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์ 4) ด้วยมวลที่เท่ากัน

2.2.4.3 ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสม

ทดลอง Compaction Test ตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน" เพื่อหาค่า Optimum Moisture Content (OMC.) และ Maximum Dry Density (MDD.)

ตารางที่ 2-2 การทดลอง Compaction Test

COMPACTION TEST

Sample: หินคลุกผสมผิวทางแอสฟัลต์ ชนิด Asphalt Concrete

Type Test: Mod.Proctor Mold Mass: 2.261 kg. Volume: (V) 905.7 มิลลิลิตร.

Density

Trial (water added)	%	2	4	6	8
Mass Mold+Soil	kg	4.241	4.399	4.483	4.451
Mass Mold	kg	2.261	2.261	2.261	2.261
Mass Soil (M_s)	kg	1.980	2.138	2.222	2.190
Wet Density (D)	gm/ml	2.186	2.361	2.453	2.418
Dry Density (D_1)	gm/ml	2.137	2.257	2.310	2.231
Water Content					
Can No.		631	641	606	624
Mass can+wet Soil	gm	324.8	329.3	328.0	323.3

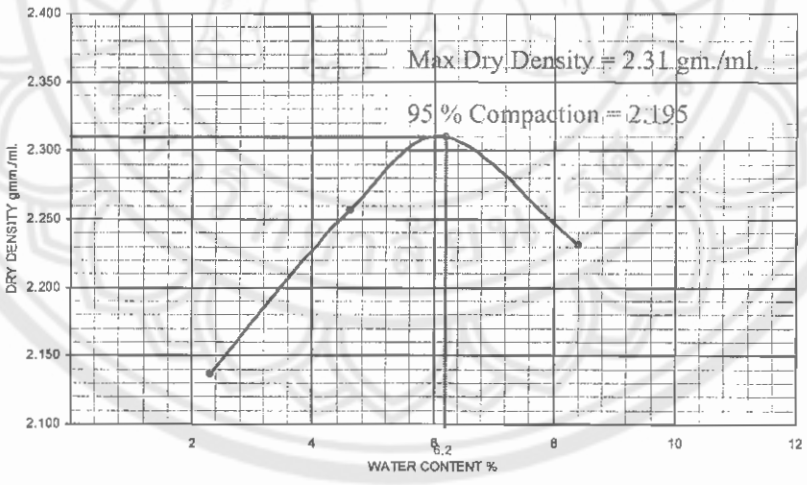
ตารางที่ 2-2 การทดลอง Compaction Test (ต่อ)

Trial (water added)	%	2	4	6	8
Mass can+dry Soil	gm	318.4	316.7	311.5	301.5
Mass Water	gm	6.4	12.6	16.5	21.8
Mass Can	gm	41.9	42.3	44.9	42.5
Mass Dry Soil	gm	276.5	274.4	266.6	259.0
Water Content (W_s)	%	2.3	4.6	6.2	8.4

ตารางที่ 2-2 แสดงการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลง (varied) ตัวแปรปริมาณ water เป็นเปอร์เซ็นต์ (%)(Water Content) ส่วนค่าตัวแปรอื่นๆมีค่าคงที่ตลอดในการทดลอง

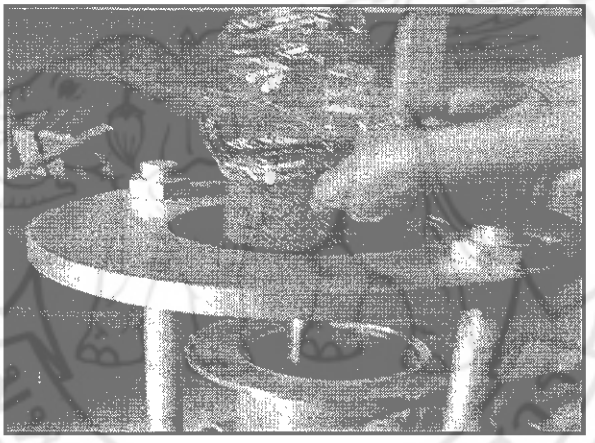
- เตรียมปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ผสมแต่ละเปอร์เซ็นต์โดยมวล กับตัวอย่างที่เตรียม มวลจำนวน 3000 กรัม ต่อ 1 แท่งตัวอย่าง โดยใช้ตัวอย่างแต่ละเปอร์เซ็นต์การผสม 3 แท่งตัวอย่าง ปริมาณเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ที่เลือกควรให้ใกล้เคียงกับปริมาณซีเมนต์ที่จะทำให้ได้กำลังรับแรงอัดตามต้องการ
- ผสมซีเมนต์กับตัวอย่างคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนเติมน้ำ หลังจากเติมน้ำและคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้ว เพื่อเป็นการจำลองสภาพเช่นเดียวกับการก่อสร้างจริงบนถนน บดอัดตัวอย่างหลังจากผสมตัวอย่างกับซีเมนต์และน้ำหนึ่งชั่วโมง โดยระหว่างนั้นส่วนผสมต้องอยู่ในภาชนะที่ปิดมิดชิด เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น และคลุกเคล้าให้เข้ากัน ทุก 15 นาที

- หาค่า OMC. และ MDD. จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งและความชื้น



รูปที่ 2-9 กราฟ Compaction Test

รูปที่ 2-10 การทดลองการบดทับแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Compaction Test)



รูปที่ 2-11 การดันก้อนตัวอย่างออกจากแบบ

ตารางที่ 2-3 การทดลองหาค่ามวลแห้งของวัสดุชั้นทางเดิม

UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH

Sample หินคลุกผสมผิวทางแอสฟัลต์ ชนิด Asphaltic Concrete

C Cment %	M_2 Mass Soil Gm.	W_3 Water Content in Soil %	M_1 Mass of Dry Soil gm.	M_3 Mass of Cement Gm.	$M_1 + M_3$ Mass of Cement and Dry Soil gm.	W_2 Optimum Water Content %	W_1 Optimum Water Content % Add.	W_4 Water Add. ml.
1	3,000	1.1	2,967.0	29.7	2,996.7	6.2	5.1	152.8
2	3,000	1.1	2,967.0	59.3	3,026.3	6.2	5.1	154.3
3	3,000	1.1	2,967.0	89.0	3,056.0	6.2	5.1	155.9
4	3,000	1.1	2,967.0	118.7	3,085.7	6.2	5.1	157.4
5	3,000	1.1	2,967.0	148.4	3,115.4	6.2	5.1	158.9

ตารางที่ 2-3 เป็นการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลง (varied) ค่าตัวแปรซีเมนต์ เป็นเปอร์เซ็นต์ (% Cement content) ส่วนตัวแปรอื่นที่ใช้ในการทดลองมีค่าคงที่ตลอดในการทดลอง

1. นำตัวอย่างวัสดุชั้นพื้นทางเดิมที่เตรียม จำนวน 3 กิโลกรัม ใส่ลงในภาชนะที่เหมาะสมเพื่อผสมกับซีเมนต์
2. หาค่ามวลรวมแห้งของวัสดุชั้นทางเดิม ดังนี้

$$M_1 = \frac{M_2}{1 + \left[\frac{W_3}{100}\right]} \qquad (2.1)$$

เมื่อ M_1 = มวลแห้งของวัสดุชั้นทางเดิม (gm)

M_2 = มวลของวัสดุชั้นทางเดิมที่ใช้ทดลอง (gm)

W_3 = ความชื้นของวัสดุชั้นทางเดิม (Content %)

3. หามวลของซีเมนต์ที่ใช้ผสม

$$M_3 = \frac{C}{100} x \frac{M_1}{} \qquad (2.2)$$

เมื่อ M_3 = มวลของซีเมนต์ที่ได้ผสม (gm)

C = เปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ที่ใช้ผสม (Content %)

M_1 = มวลแห้งของวัสดุชั้นทางเดิม (gm)

4. หาค่าปริมาณน้ำที่ต้องใช้ผสมเพื่อให้ได้ปริมาณตาม OMC.

$W_1 = W_2 - W_3$ (2.3)

เมื่อ W_1 = เปอร์เซ็นต์น้ำที่ต้องการเพิ่ม (Content %)

W_2 = OMC. (Content %)

W_3 = ความชื้นของวัสดุพื้นทางเดิม (Content %)

และ

$$W_4 = M_4 x \frac{W_1}{100} x (M_1 + M_3) \qquad (2.4)$$

เมื่อ W_4 = มวลของน้ำที่ต้องการเพิ่ม (ml)

W_1 = เปอร์เซ็นต์น้ำที่ต้องผสมเพิ่ม (Content %)

M_1 = มวลแห้งของวัสดุชั้นทางเดิม (gm)

M_3 = มวลซีเมนต์ที่ใช้ผสม (gm)

5. ผสมวัสดุชั้นทางเดิมและซีเมนต์คลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วผสมน้ำคลุกเคล้าให้เข้ากันสม่ำเสมอ หลังจากผสม 1 ชั่วโมง บดอัดตัวอย่างตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน"

6. เก็บตัวอย่างส่วนผสม ทดลองความชื้น

7. นำแท่งตัวอย่างออกจากแบบ โดยใช้แม่แรงดันออก ต้องระมัดระวังแท่งตัวอย่างเสียหาย

8. บันทึกมวลและปริมาณของแท่งตัวอย่างเพื่อหาความแน่นแห้ง

$$D = \frac{M_5}{V} \qquad (2.5)$$

เมื่อ D = ความแน่นเปียก (kg/m^3)

M_5 = มวลของแท่งตัวอย่าง (kg)

V = ปริมาตรแท่งตัวอย่าง (m^3)

และ $$D_1 = \frac{M_5}{1+\left[\frac{W_5}{100}\right]} \quad (2.6)$$

เมื่อ D_1 = ความแน่นแห้ง (kg/m^3)

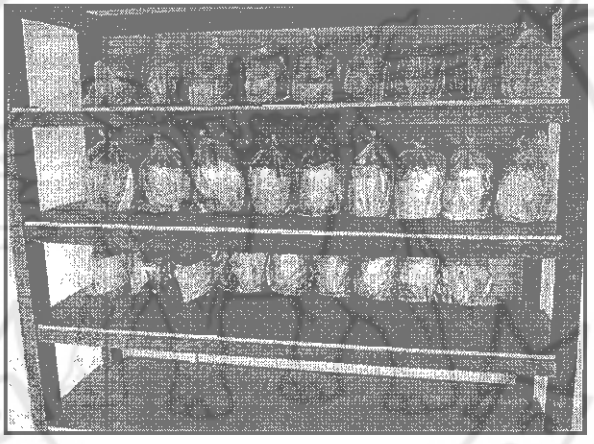
W_5 = ความชื้นแห่งตัวอย่าง (Content %)

9. ดำเนินการทำซ้ำตามขั้นตอน 1 – 8 โดยแต่ละเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์จำนวนแท่งตัวอย่างต้องไม่น้อยกว่า 5 แท่ง

10. ทำซ้ำตามขั้นตอน 1 - 9 โดยเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ไม่น้อยกว่า 3 ค่า

- การบ่ม

บ่มตัวอย่างในถุงพลาสติก 7 วัน เพื่อรักษาความชื้นในตัวอย่าง หลังจากการบ่มจนครบกำหนดนำแท่งตัวอย่างออกจากถุงพลาสติก และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปแช่น้ำ 2 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดลองกำลังรับแรงอัด



รูปที่ 2-12 การบ่มก้อนตัวอย่าง

- การทดลองกำลังรับแรงอัด

ทดลองหาค่าแรงอัดตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 105 "วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน" โดยอนุโลม ซึ่งแท่งตัวอย่างวัสดุมวลรวมผสมปูนซีเมนต์ทดสอบจะถูกบดอัดในแบบตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108/2517 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน" ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 17.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดำเนินการดังนี้

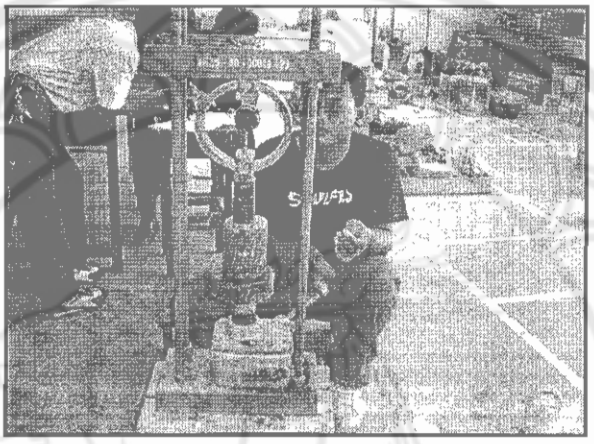
1. วางแท่งตัวอย่างระหว่างแผ่นกด โดยให้ศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างอยู่ตรงศูนย์กลางแรงกด
2. กดตัวอย่างด้วยอัตราการเพิ่มแรงกดสม่ำเสมอ จนกระทั่งได้แรงกดสูงสุดบันทึกแรงกดสูงสุด
3. คำนวณหากำลังรับแรงอัด

$$ucs = \frac{4xP}{\pi xd^2} \qquad (2.7)$$

เมื่อ UCS. = กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)

P = แรงกดสูงสุด (kg)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง (cm^2)



รูปที่ 2-13 การทดสอบการรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง

- หาค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยแต่ละเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์

ตารางที่ 2-4: แสดงค่าแรงอัด (UCS.)

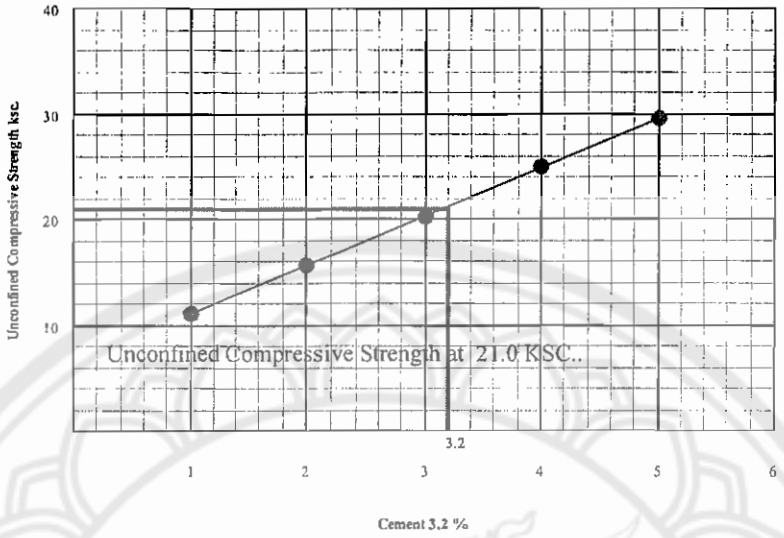
Cement %	Sample No.	Ultimate Load Dial Reading kg.	Area of Specimen $cm.^2$	Ultimate Compressive Strength $kg./cm.^2$	Average UCS..
1	1	905.1	78.5	11.5	11.0
	2	871.3	78.5	11.1	
	3	820.7	78.5	10.5	
2	1	1,276.7	78.5	16.3	15.6
	2	1,209.1	78.5	15.4	
	3	1,192.2	78.5	15.2	
3	1	1,614.5	78.5	20.6	20.2
	2	1,580.7	78.5	20.1	
	3	1,563.8	78.5	19.9	
4	1	1,986.0	78.5	25.3	24.9
	2	1,918.5	78.5	24.4	
	3	1,969.1	78.5	25.1	
5	1	2,357.6	78.5	30.0	29.5
	2	2,323.8	78.5	29.6	
	3	2,273.2	78.5	29.0	

Cure Specimen 7 days. And Soak in Water 2 hrs

Load = (Dial Reading X 7.4449) - (15.274) Lbs.

ทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ส่วนค่าอื่นคงที่ตลอดการทดลองเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างอย่างน้อย 3 ก้อนของแต่ละเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ โดยตัดค่าที่สูงหรือต่ำ ผิดปกติอย่างเด่นชัดออก ซึ่งอาจเกิดจากก้อนตัวอย่างเสียหายก่อนทดลอง

- เขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์กับกำลังรับแรงอัด



Require;

1. Unconfined Compressive Strength at = 21.0 KSC.

Use

1. Cement Use = 3.20 %

รูปที่ 2-14 กราฟ ความสัมพันธ์ ระหว่าง UCS. กับ Cement

รูปที่ 2-8 แสดงกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง ขึ้นกับปริมาณซีเมนต์ คุณสมบัติวัสดุชั้นทางเดิม และความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง โดยความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัด จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณซีเมนต์ ดังนั้นให้เขียนกราฟเส้นตรง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์

2.2.5 เครื่องจักรและเครื่องมือ

1. เครื่องจักรเกี่ยวกับอุปกรณ์ผสมเพิ่ม และ น้ำ

ประกอบด้วยรถบรรทุกที่ติดตั้งถังหรือยุ้งบรรจุวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพแต่ละชนิดและหรือน้ำหรืออาจเป็นรถบรรทุกที่ติดตั้งถังหรือยุ้งแยกวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพแต่ละชนิด **และน้ำรวมกันในรถบรรทุกคันเดียวกันก็ได้ โดยรถบรรทุกดังกล่าวจะต้องมีถังหรือยุ้งขนาดบรรจุเหมาะสำหรับงานมีอุปกรณ์วัดควบคุมปริมาณการจ่ายวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพแต่ละชนิดและน้ำหรือน้ำที่เที่ยงตรงสม่ำเสมอตามที่กำหนด**

2. เครื่องจักรปรับเกลี่ยระดับ

เครื่องจักรเกลี่ยปรับระดับจะต้องเป็นชนิดขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองและมีกำลังมากพอที่จะเกลี่ยวัสดุและปรับระดับได้ถูกต้องตามรูปแบบ

3. รถบรรทุกวัสดุ

รถบรรทุกวัสดุที่นำมาใช้ จะต้องเป็นชนิดที่เหมาะสมกับงานมีจำนวนเพียงพอกับจำนวนการผลิตของโรงงานผสมวัสดุประจำที่และหรือในที่ เพื่ออำนวยให้การก่อสร้างดำเนินไปได้โดยไม่ติดขัดหรือหยุดชะงัก

4. เครื่องจักรปูวัสดุ

เครื่องจักรปูวัสดุจะต้องเป็นแบบขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองและมีกำลังมากพอและสามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ได้อย่างสม่ำเสมอ เครื่องจักรปูจะต้องสามารถปรับความเร็วการปูได้และปูได้แนวลาดเอียงได้ถูกตองตามแบบที่กำหนด มีลักษณะผิวเรียบสม่ำเสมอ โดยจะต้องมีระบบและประกอบอุปกรณ์ควบคุมระดับและความลาดเอียงการปูโดยอัตโนมัติ

5. เครื่องจักรบดทับ

เครื่องจักรบดทับทุกชนิดจะต้องเป็นแบบที่ขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเอง โดยมีขนาดชนิด น้ำหนักและจำนวนเหมาะสมกับการก่อสร้าง ชั้นทาง ชนิดวัสดุ และอื่นๆ และสามารถนวยการให้การก่อสร้างเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ติดขัดหรือหยุดชะงัก การกำหนดรายละเอียดเครื่องจักรบดทับให้พิจรจนาจากแบบแปลงทดสอบในสนามเป็นหลัก โดยจะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างควบคุมงาน

6. เครื่องจักรและเครื่องมืออื่นๆ

เครื่องจักรและเครื่องมืออื่นๆ นอกเหนือจากที่ได้กำหนดไว้แล้วข้างต้นที่กำหนดไว้แล้ว ก่อนจะนำมาใช้งานจะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวง

7. เครื่องมือ และ อุปกรณ์ทดสอบ และห้องปฏิบัติการทดสอบ

7.1 ผู้รับเหมาจะต้องจัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์ทดสอบที่ได้มาตรฐาน และมีสภาพดีเพ่อใช้ในการทดสอบ และตรวจสอบคุณภาพวัสดุในระหว่างการก่อสร้างจนกว่างานจะแล้วเสร็จ

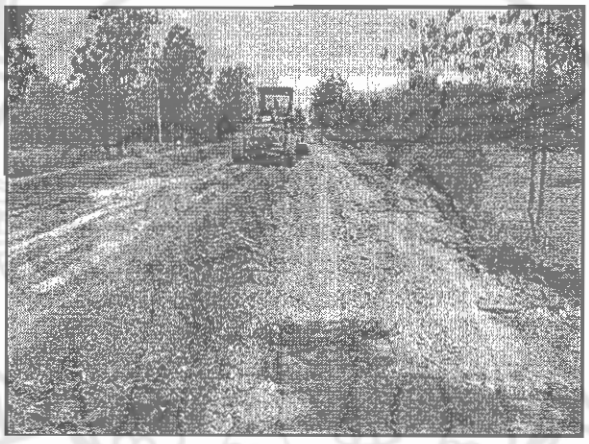
7.2 ผู้รับเหมาจะต้องจัดหา หรือจัดสร้างห้องปฏิบัติการทดสอบ จะต้องมีขนาดพื้นที่ไม่น้อยกว่า 40 ตะรางเมตร หรือตามแบบที่กรมทางหลวงเห็นชอบ พร้อมติดตั้งอุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่จำเป็นตามที่กำหนด เพื่อให้ผู้ควบคุมงานใช้เป็นสถานที่ควบคุมงานในระหว่างการก่อสร้างจนกว่างานจะแล้วเสร็จ

2.3 วิธีการก่อสร้างของวิธีการบูรณะทางแบบเสริมพื้นทาง (Rehabilitation of Base Course)

ตารางที่ 2-5 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานและขั้นตอนการก่อสร้างของวิธีการบูรณะทางแบบเสริมพื้นทาง **(Rehabilitation of Base Course)**

กิจกรรมก่อน – หลัง Activity	เครื่องจักร Equipment	วัสดุที่ใช้ Material	ควบคุมคุณภาพ Quality Control	การบำรุงรักษา Maintenance
1. ขุดรื้อผิวทางและไหล่ทางผิวแอสฟัลต์ ดิกคอนกรีต (Asphalt Concrete) เดิมออก(ดังรูปที่ 2-9)	- รถขุดไฮโดรลิคตีนตะขาบ (Back Hole) - รถขุดล้อยาง (Wheeled Excavator) - รถน้ำ (Water Truck) - รถบรรทุก (Dump Truck)	น้ำสะอาด	คัดวัสดุที่ไม่ต้องการออกให้หมดให้ได้แนวและระดับตามข้อกำหนดในแบบ -ขุดรื้อพื้นทางเดิมให้ความลึกตามแบบกำหนด	
2. ขุดรื้อพื้นทางเดิม พร้อมบดทับ (Scarification & Re compacted) (ดังรูปที่ 2-10) (ดังรูปที่ 2-11)	- รถเกรด (Motor Grader) - รถน้ำ (Water Truck) - รถบดสั่นสะเทือน (Vibrating Roller) - รถบดล้อยาง (Pneumatic Tired Roller)	น้ำสะอาด	-ควบคุมการผสม การปู การบดทับวัสดุตามข้อกำหนด -ทดสอบความแน่นการบดทับในสนาม Field density Test	หลังจากดำเนินการแล้วระหว่างรอขั้นตอนต่อไปควรพ่นน้ำบางๆ เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น

รูปที่ 2-15 การรื้อผิวทางเดิม



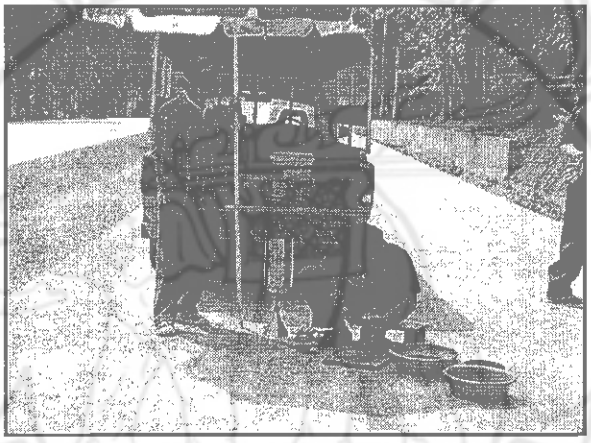
รูปที่ 2-16 การ Scarification พื้นทางเดิม

ป ๙๒
๗๒๐
๒๕๖๑
๒๕๖๐

i.4080208 c.2

สำนักหอสมุด
22 ก.ค. 2551

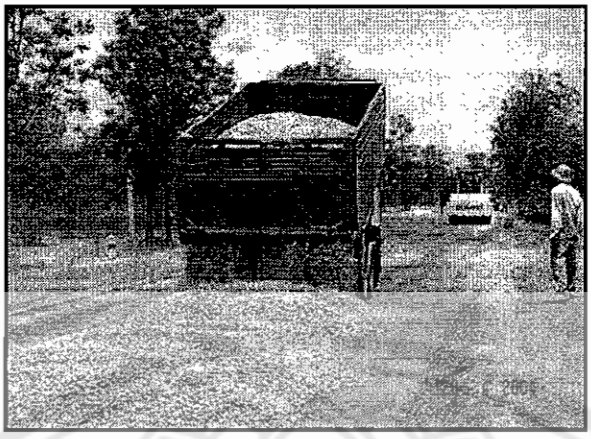
รูปที่ 2-17 การบดทับ (Compaction)



รูปที่ 2-18 การทดสอบความแน่นในสนาม Field Density Test

ตารางที่ 2-5 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการดำเนินงานและขั้นตอนการก่อสร้างของวิธีการบูรณะทางแบบเสริมพื้นทาง **(Rehabilitation of Base Course)**

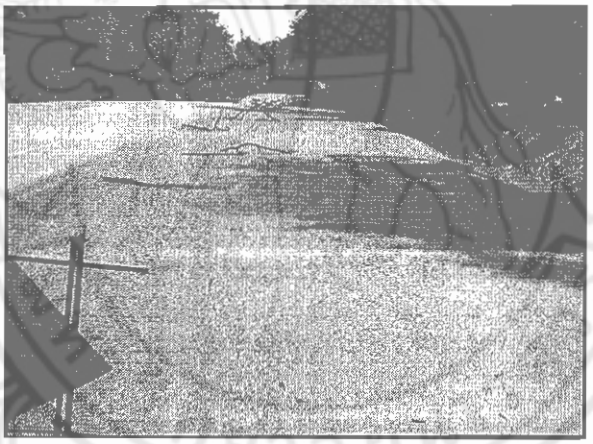
กิจกรรมก่อน – หลัง Activity	เครื่องจักร Equipment	วัสดุที่ใช้ Material	ควบคุมคุณภาพ Quality Control	การบำรุงรักษา Maintenance
3. เสริมหินคลุก (Crushed Rock) เสริมพื้นทางเดิมพร้อมบดทับ (Compacted) (ดังรูปที่ 2-13)	- รถบดล้อเหล็ก (Steel Wheeled Compaction) - รถตักล้อยาง (Wheeled Loader) - รถบรรทุก (Dump Truck) - รถน้ำ (Water Truck) - รถเกรด (Motor Grader) - รถบดสั่นสะเทือน (Vibrating Roller) - รถบดล้อยาง (Pneumatic Tired Roller) - รถบดล้อเหล็ก (Steel Wheeled Compaction) - เครื่องพ่นแอสฟัลต์ (Asphalt Distributor)	-หินคลุก (Crushed Rock) น้ำสะอาด	-ตรวจสอบคุณสมบัติของหินคลุกให้ตรงตามข้อกำหนด -ควบคุมการผสม การปู พร้อมบดทับให้ได้ตามรูปแบบข้อกำหนด -ทดสอบความแน่นในสนาม Field Density Test	-หลังจากดำเนินการแล้วเสร็จระหว่างรอในการดำเนินการก่อสร้างขั้นตอนต่อไป ควรพ่นน้ำบางๆที่ผิวหน้า เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น
4. การลาดยางปิดทับ (Prime Coat) (ดังรูปที่ 2-14)	- รถน้ำ (Water Truck) -เครื่องกวาดฝุ่น (Rotary Broom) - เครื่องเป่าลม (Blower)	- ยาง Asphalt CSS-1 - น้ำสะอาด - ทราย หรือ หินฝุ่น	- เตรียมพื้นที่การสร้างให้สะอาด - ควบคุมอุณหภูมิยาง Asphalt ให้ได้ตามข้อกำหนด - ควบคุมอัตราการลาด Asphalt ให้เป็นไปตามข้อกำหนด - หาวัสดุปิดทับหรือป้องกันการเสียหายกรณี	- จำกัดการใช้พาหนะที่จะทำให้เกิดการเสียหาย เช่น พาหนะที่เป็นตีนตะขาบ (Track) และรถที่มีน้ำหนักบรรทุกเกินกว่ากฎหมายกำหนด



รูปที่ 2-19 การลงหินคลุกพื้นทางใหม่

รูปที่ 2-20 การบดอัดพื้นทางใหม่

รูปที่ 2-21 การทดสอบความแน่นในสนาม Field Density Test ของพื้นทางใหม่

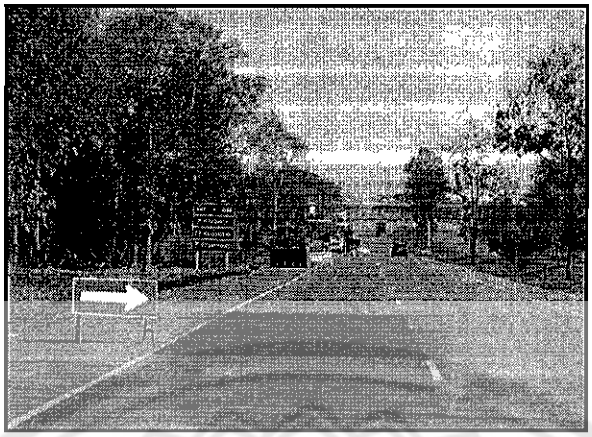


รูปที่ 2-22 การลาดยาง Prime Coat

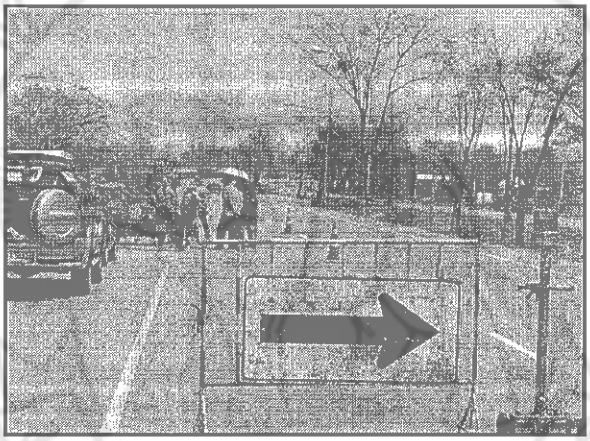
2.4 วิธีการก่อสร้างแบบปรับปรุงคุณภาพพื้นทางเดิมในที่ (Pavement In Place Recycling)

ตารางที่ 2-6: แสดงขั้นตอนการดำเนินงานการก่อสร้างทางแบบปรับปรุงคุณภาพพื้นทางเดิมในที่ (Pavement In Place Recycling)

กิจกรรมก่อน – หลัง Activity	เครื่องจักร Equipment	วัสดุที่ใช้ Material	ควบคุมคุณภาพ Quality Control	การบำรุงรักษา Maintenance
งานอำนวยความปลอดภัย (ดังรูปที่ 2-17) (ดังรูปที่ 2-18)	-	- ป้ายแนะนำ โครงการ - ป้ายแนะนำ, ป้ายเตือน - เครื่องหมายการจราจร - สัญญาณไฟกระพริบ	- ให้มีขนาด คุณภาพ และปริมาณเพียงพอให้เป็นไปตามรูปแบบและข้อกำหนด - จัดบุคลากรดูแล ให้สามารถใช้งานได้ดี	- ทำความสะอาด - ตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ ให้สามารถใช้งานได้ตลอดเวลา
งานแก้ไขจุดอ่อนตัว (Soft Spot) (ดังรูปที่ 2-19)	- รถขุดไฮโดรลิคตีนตะขาบ Back Hole) - รถขุดล้อยาง (Wheeled Excavator) - รถบรรทุก (Dump Truck) - รถน้ำ (Water Truck) - รถบดสั่นสะเทือน (Vibrating Roller) - รถบดล้อยาง (Pneumatic Tired Roller) - รถบดล้อเหล็ก (Steel Wheeled Compaction)	- หินคลุก (Crushed Rock) - วัสดุมวลรวม (Soil Aggregate) - น้ำ (Water)	- ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ให้เป็นไปตามรูปแบบและข้อกำหนด - ควบคุมการผสม การปู พร้อมบดทับให้เป็นไปตามรูปแบบและข้อกำหนด - ทดสอบความแน่นของการบดทับวัสดุในสนาม (Field Density Test)	- พ่นน้ำบางๆ ที่ผิวหน้า เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น - ปิดทับด้วยวัสดุแอสฟัลต์

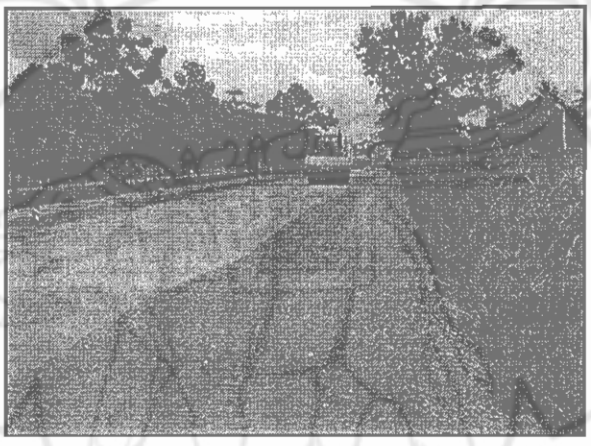


รูปที่ 2-23 การติดตั้งป้ายสัญญาณเตือนก่อนดำเนินการก่อสร้าง



รูปที่ 2-24 การติดตั้งป้ายสัญญาณเตือนก่อนดำเนินการก่อสร้าง

รูปที่2-25 การแก้ไขจุดอ่อนตัว (Soft Spot) โดยรื้อวัสดุที่เสียหายออก

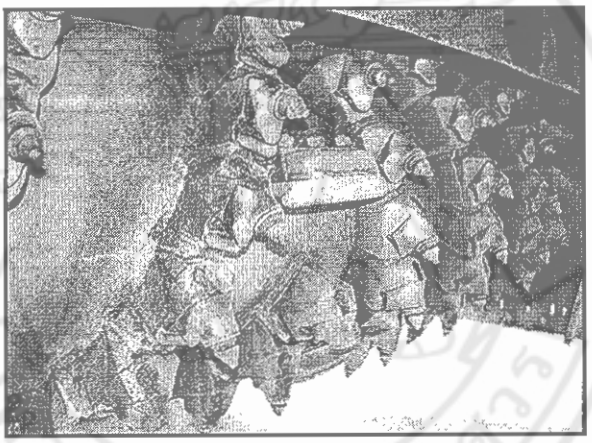


รูปที่ 2-26 การแก้ไขจุดอ่อนตัว (Soft Spot) โดยลงวัสดุใหม่พร้อมบดทับ

ตารางที่ 2-6(ต่อ) แสดงขั้นตอนการดำเนินงานการก่อสร้างของวิธีการบูรณะทางแบบปรับปรุงคุณภาพพื้นทางเดิมในที่ **(Pavement In Place Recycling)**

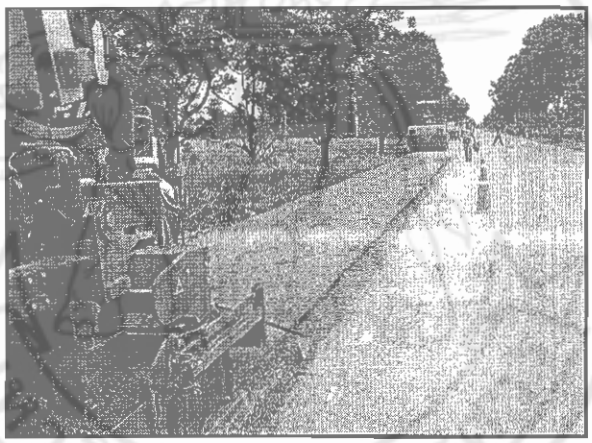
กิจกรรมก่อน – หลัง Activity	เครื่องจักร Equipment	วัสดุที่ใช้ Material	ควบคุมคุณภาพ Quality Control	**การบำรุงรักษา** Maintenance
งานปรับปรุงพื้นทางเดิมในที่ (Pavement In Place Recycling) - **ขุดรื้อผิวทางและพื้น**ทางเดิม (Milling and Scarification) **ย่อยให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ** (Size Reduction) (ดังรูปที่ 2-21)	- เครื่องขุดใส (Milling Machine) - รถเกรด (Motor Grader) - เครื่องนำวัสดุเดิมมาใช้ใหม่ (Cold Recycling)	-	- ให้ได้ความลึกตามแบบ (Deep Design) - คัดขนาดที่ไม่ต้องการ (Oversize)	-
- **ผสมวัสดุปรับปรุงคุณภาพ** (Mixing and Adding Stabilizing Agents) **(ดังรูปที่ 2-23)**	- รถน้ำ (Water Truek) - รถปูน (Cement Truck Cement type I) - เครื่องผสม (Slurry Mixed) - รถเกรด (Motor Grader) - เครื่องนำวัสดุเดิมมาใช้ใหม่ (Cold Recycling)	น้ำสะอาด -	- ควบคุมปริมาณส่วนผสม**ต่างๆ** ตามที่ออกแบบ (Mixed Design) - ทดสอบการรับแรงอัด (Unconfined Compressive Strength) ไม่น้อยกว่าค่าที่**กำหนด**ในแบบ	-
- **การปู การเกลี่ย วัสดุ** (Spreading and Trimming) (ดังรูปที่ 2-24)	- เครื่องปู (Pave Machine) - รถเกรด (Motor Grader)		- ให้ได้รูปแนวตลอดจน**ความหนาที่**เผื่อค่ายุบตัวในการบดทับ	

รูปที่ 2-27 การขุดรื้อผิวทางและพื้นทางเดิม



รูปที่ 2-28 ลักษณะฟันของเครื่องขุดใส (Milling)

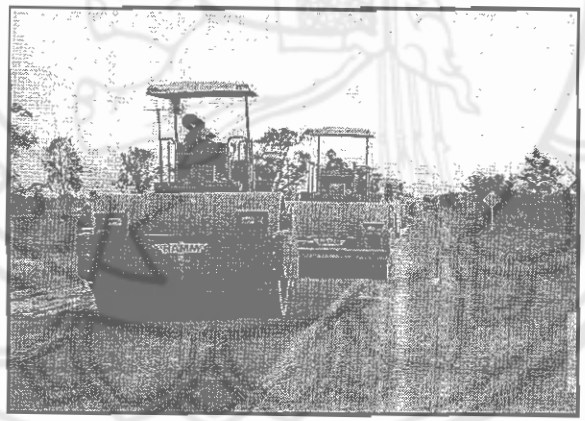
รูปที่ 2-29 การขุดผสมของเครื่องจักร



รูปที่ 2-30 การปูการเกลี่ยวัสดุด้วยเครื่องจักร Recycling

ตารางที่ 2-6 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการดำเนินงานการก่อสร้างของวิธีการบูรณะทางแบบปรับปรุงคุณภาพพื้นทางเดิมในที่ **(Pavement In Place Recycling)**

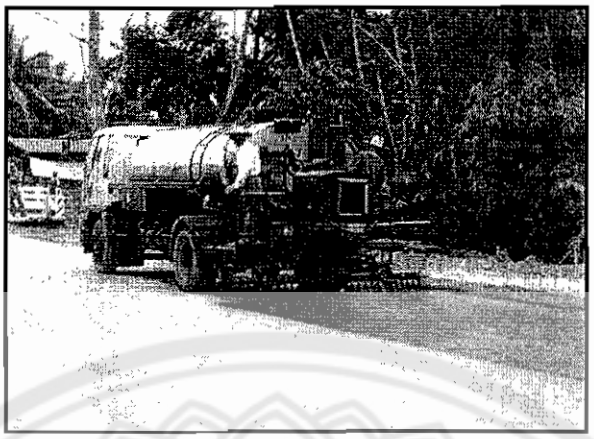
กิจกรรมก่อน – หลัง Activity	เครื่องจักร Equipment	วัสดุที่ใช้ Material	ควบคุมคุณภาพ Quality Control	การบำรุงรักษา Maintenance
- การบดทับ(Compactor) (ดังในรูปที่ 2-25)	- รถบดสั่นสะเทือน(Vibrating Roller) - รถบดล้อยาง (Pneumatic Tired Roller) - รถบดล้อเหล็ก (Steel Wheeled Compaction		- ทดสอบความแน่นในสนาม (Field Density Test)	- หลังจากดำเนินการแล้วเสร็จจะต้องพ่นน้ำบางๆที่ผิวหน้า 3 – 7 วัน เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น



รูปที่ 2-31 แสดงการบดอัดด้วยเครื่องจักร

ตารางที่ 2-6(ต่อ) แสดงขั้นตอนการดำเนินงานการก่อสร้างของวิธีการบูรณะทางแบบปรับปรุงคุณภาพพื้นทางเดิมในที่ **(Pavement In Place Recycling)**

กิจกรรมก่อน – หลัง Activity	เครื่องจักร Equipment	วัสดุที่ใช้ Material	ควบคุมคุณภาพ Quality Control	การบำรุงรักษา Maintenance
การลาดยางปิดทับ (Prime Coat) (ดังในรูปที่ 2-27)	- เครื่องพ่นแอสฟัลต์ (Asphalt Distributor) - รถน้ำ (Water Truck) -เครื่องกวาดฝุ่น (Rotary Broom) - เครื่องเป่าลม (Blower) - รถบรรทุก (Dump Truck)	- ยาง Asphalt MC-70 - น้ำสะอาด - ทราย หรือ หินฝุ่น	- เตรียมพื้นที่การสร้างให้สะอาด - ควบคุมอุณหภูมิยาง Asphalt ให้ได้ตามข้อกำหนด - ควบคุมอัตราการลาด Asphalt ให้เป็นไปตามข้อกำหนด - หาวัสดุปิดทับหรือป้องกันการเสียหายกรณี Asphalt ยังไม่บ่มตัว	- จำกัดการใช้พาหนะที่จะทำให้เกิดการเสียหาย เช่น พาหนะที่เป็นตีนตะขาบ (Track) และรถที่มีน้ำหนักบรรทุกเกินกว่ากฎหมายกำหนด



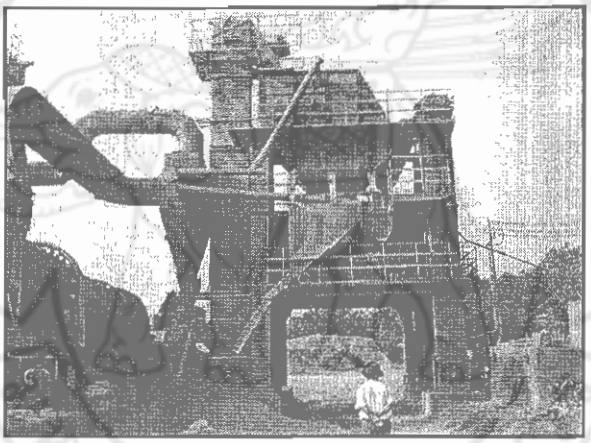
รูปที่ 2-32 การลาดวัสดุแอสฟัลต์ ชนิด Prime Coat

รูปที่ 2-33 การฉีดพ่นน้ำเพื่อรักษาความสูญเสียความชื้นภายหลังจากการบดทับ

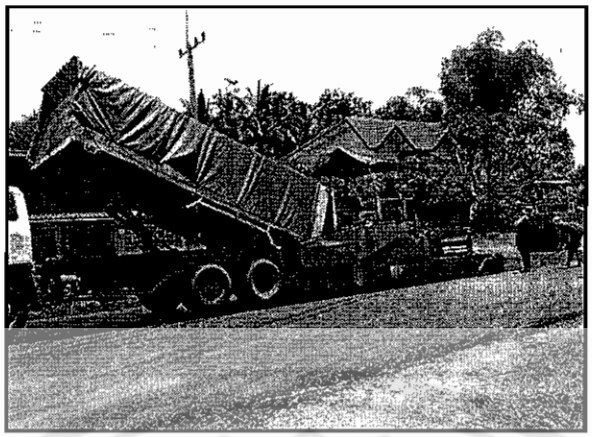
ตารางที่ 2-6 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการดำเนินงานการก่อสร้างของวิธีการบูรณะทางแบบปรับปรุงคุณภาพพื้นทางเดิมในที่ (Pavement In Place Recycling)

กิจกรรมก่อน – หลัง Activity	เครื่องจักร Equipment	วัสดุที่ใช้ Material	ควบคุมคุณภาพ Quality Control	การบำรุงรักษา Maintenance
งานผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concretc) (ดังในรูปที่ 2-29)	- โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete Mixing Plant) - เครื่องวัดอุณหภูมิ	- แอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 - หินโม่ขนาด 3/4 นิ้ว, ขนาด 1/2 นิ้ว, ขนาด 3/8 นิ้ว, หินฝุ่น - วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต	- ควบคุมคุณภาพและปริมาณส่วนผสมให้เป็นไปตามข้อกำหนด - ควบคุมอุณหภูมิของวัสดุทั้งก่อนการผสมและหลังการผสมให้เป็นไปตามข้อกำหนด - ควบคุมอุณหภูมิของวัสดุระหว่างขนส่งให้เป็นไปตามข้อกำหนด	
- การผลิตวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete Production)				
- การขนส่งวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต(ดังในรูปที่ 2-30)	- รถบรรทุก (Dump Truck)	- วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต	- ควบคุมน้ำหนักการบรรทุกวัสดุให้เป็นไปตามกฎหมาย - ระยะการขนส่งต้องไม่เกินตามข้อกำหนด	
- การปูการเกลี่ยวัสดุ (Spreading and Trimming)	- เครื่องปู (Pave Machine)		- ควบคุมอุณหภูมิของวัสดุก่อนปูให้เป็นไปตามข้อกำหนด - ให้ได้รูปแนวตลอดจนความหนาที่เผื่อค่ายุบตัวในการบดทับ	

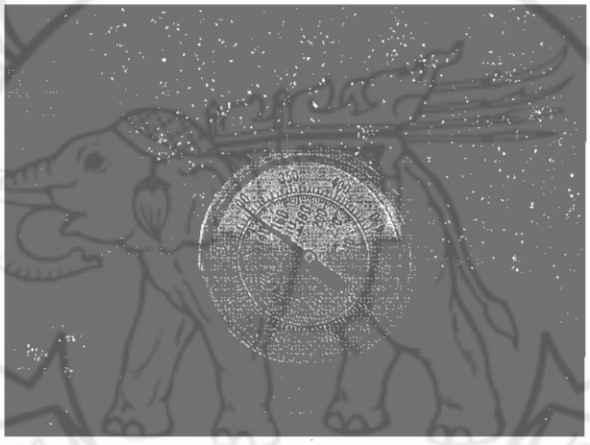
รูปที่ 2-34 ลักษณะการ Prime Coat แล้วเสร็จ พร้อมก่อสร้างไนขั้นต่อไป



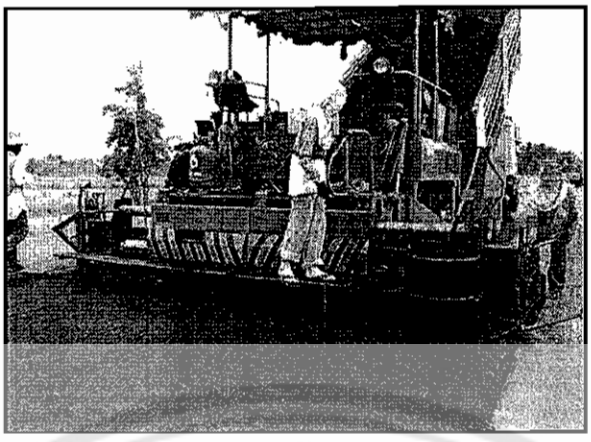
รูปที่ 2-35 โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Conerete Mixing Plant)



รูปที่ 2-36 การขนส่งวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตจากโรงงานผลิตมาสถานที่ก่อสร้าง



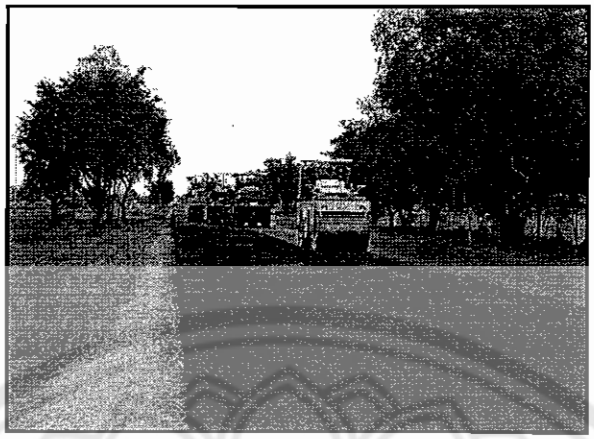
รูปที่ 2-37 การวัดอุณหภูมิของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต ด้วยเทอร์โมมิเตอร์



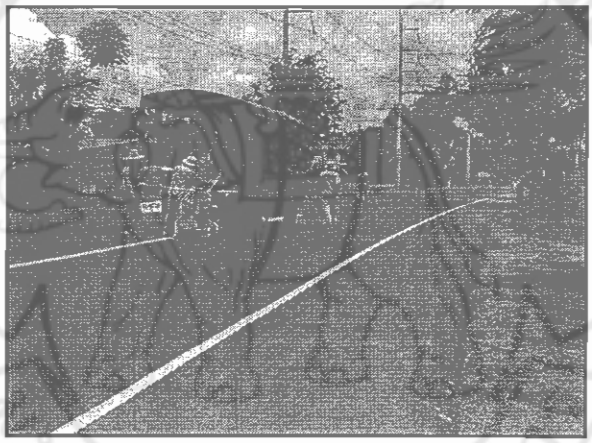
รูปที่ 2-38 การปูผิวแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยชุดเครื่องจักร

ตารางที่ 2-6 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการดำเนินงานการก่อสร้างของวิธีการบูรณะทางแบบปรับปรุงคุณภาพพื้นทางเดิมในที่ **(Pavement In Place Recycling)**

กิจกรรมก่อน – หลัง Activity	เครื่องจักร Equipment	วัสดุที่ใช้ Material	ควบคุมคุณภาพ Quality Control	การบำรุงรักษา Maintenance
- การบดทับ (Compactor) (ดังในรูปที่ 2-33)	- รถบดสั่นสะเทือน (Vibrating Roller) - รถบดล้อยาง (Pneumatic Tired Roller) - รถน้ำ (Water Truck)	- วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต - น้ำสะอาด	- ควบคุมอุณหภูมิของการบดทับวัสดุ - เจาะวัดความหนาของวัดสุพร้อมหาเปอร์เซ็นต์การบดทับให้ได้ตามรูปแบบและข้อกำหนด - ควบคุมปริมาณส่วนผสมของวัสดุตามข้อกำหนด - ควบคุมคุณภาพวัสดุตามข้อกำหนด	
- งานเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง (ดังในรูปที่ 2-34)	- เครื่องตีเส้นจราจร (Traffic Machine) - เครื่องเป่าฝุ่น (Blower) - เครื่องวัดการสะท้อนแสง (Retroreflectivity) - เครื่องวัดความหนา (Micrometer)	- วัสดุเทอร์โมพลาสติก - ลูกแก้ว - วัสดุรองพื้น Primer	- ควบคุมขนาดของเครื่องหมายตามรูปแบบและข้อกำหนด - ควบคุมการสะท้อนแสงตามข้อกำหนด	- ทำความสะอาดเครื่องหมายตามระยะเวลาทำกำหนด



รูปที่ 2-39 การบดทับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยชุดเครื่องจักร



รูปที่ 2-40 การตีเส้นเครื่องหมายจราจร

2.5 ตารางการประเมินราคาค่าก่อสร้าง

จากผลการศึกษาวิธีวิเคราะห์การประเมินราคาค่าก่อสร้างของแต่ละวิธีการบูรณะทาง ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกันตามรายระเอียดวิธการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 สรุปค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคา

	ลักษณะงาน	หน่วย	ค่าดำเนินการ บาท/หน่วย	ค่าเสื่อมราคาบาท		รวมค่างาน (บาท)	
				ปกติ	ฝนชุก	ปกติ	ฝนชุก
1	งานพื้นทาง (หินคลุก)						
	ผสม (Blend)	ลบม. แน่น	11.49	2.55	3.19	14.04	14.68
	บดทับ	ลบม. แน่น	40.70	13.27	16.59	53.97	57.29
2	งานตัดแต่งขั้นบันได	ลบม. แน่น	4.09	0.81	1.01	4.90	5.10
3	งานชุดรื้อคันทางเดิมแล้วบดทับ	ตรม.	5.47	1.13	1.41	6.60	6.88
	ลูกรัง 10 ซม.	ตรม.	6.74	1.78	2.23	8.52	8.97
	หินคลุก 10 ซม.	ตรม.	5.67	0.98	1.23	6.65	6.90
4	ผิว AC. 5 ซม. (ขนทิ้ง)	ตรม.	4.89	0.31	0.39	5.20	5.28
	งานลาดยางไพรม์โค้ด						

(ราคาน้ำมันโซลาที่ 29.00-29.99 บาท/ลิตร)

ตารางที่ 2-8 ตัวอย่างค่าขนส่งวัสดุก่อสร้าง

ระยะขนส่ง (กม.)	ค่าบรรทุก (บาท/ตัน)	ค่าบรรทุก (บาท/ลบ.ม.)	ระยะขนส่ง (กม.)	ค่าบรรทุก (บาท/ตัน)	ค่าบรรทุก (บาท/ลบ.ม.)	ระยะขนส่ง (กม.)	ค่าบรรทุก (บาท/ตัน)	ค่าบรรทุก (บาท/ลบ.ม.)
1	4.71	6.60	21	38.67	54.14	41	74.88	104.83
2	6.17	8.64	22	40.48	56.67	42	76.69	107.36
3	7.62	10.67	23	42.29	59.21	43	78.50	109.90
4	9.08	12.71	24	44.10	61.74	44	80.31	112.43
5	10.53	14.75	25	45.91	64.28	45	82.12	114.97
6	11.99	16.78	26	47.72	66.81	46	83.93	117.50
7	13.44	18.82	27	49.53	69.35	47	85.74	120.04
8	15.13	21.19	28	51.34	71.88	48	87.55	122.57
9	16.95	23.72	29	53.15	74.41	49	89.36	125.11
10	18.76	26.26	30	54.96	76.95	50	91.17	127.64
11	20.57	28.79	31	56.77	79.48	51	92.98	130.17
12	22.38	31.33	32	58.58	82.02	52	94.79	132.71
13	24.19	33.86	33	60.39	84.55	53	96.60	135.24
14	26.00	36.40	34	62.20	87.09	54	98.41	137.78
15	27.81	38.93	35	64.02	89.62	55	100.22	140.31
16	29.62	41.47	36	65.83	92.16	56	102.03	142.85
17	31.43	44.00	37	67.64	94.69	57	103.84	145.38
18	33.24	46.53	38	69.45	97.23	58	105.65	147.92
19	35.05	49.07	39	71.26	99.76	59	107.46	150.45
20	36.86	51.60	40	73.07	102.29	60	109.28	152.99

ตารางที่ 2-9 สรุปราคาวัสดุหินที่แหล่งในพื้นที่ สำนักทางหลวงที่ 4 (พิษณุโลก)

รายการ	ราคาวัสดุ (บาท/ม.3)					
	จ. พิษณุโลก	จ. สุโขทัย	จ. พิจิตร	จ. กำแพงเพชร	จ. ตาก	
	โรงโม่หิน ศิลายูตี จำกัด	โรงโม่หิน ศิลาคำ	โรงโม่หิน ศิลาทวีโชค	โรงโม่หิน ศิลา กำแพงเพชร	โรงโม่หิน ตาก กลกิจ	โรงโม่หิน แม่ปิง พนากิจ
	โรงโม่หิน เจ คอน สตรัคชั่น	โรงโม่หิน ศิลาพัฒนา	โรงโม่หิน เจ คอนสตรัคชั้น	โรงโม่หิน ศิลาทอง	โรงโม่หิน ภูไท ไมนิ่ง	โรงโม่หิน ศิลาเอ็น เตอร์ไพส์
หินคลุก	140.00	180.00	140.00	180.00	145.00	200.00
หิน ¾"	200.00	210.00	200.00	210.00	200.00	240.00
หิน (Single) ½"	210.00	220.00	210.00	220.00	210.00	260.00
หิน 3/8"	180.00	190.00	180.00	210.00	200.00	225.00
หินฝุ่น (Slurry)	175.00	185.00	175.00	210.00	185.00	220.00
หิน Hot Mix	200.00	210.00	200.00	210.00	200.00	225.00
หินผสมคอนกรีต	210.00	220.00	200.00	225.00	210.00	260.00
หินเรียง (Riprap)	180.00	200.00	180.00	215.00	200.00	220.00

หมายเหตุ - ราคาวัสดุไม่รวม VAT และค่าขนส่ง

ตารางที่ 2-10 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม (Factor F) งานก่อสร้างทาง

ค่างาน (ทุน) ล้านบาท	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน % ค่าอำนวยการ	ค่าดอกเบี้ย	ค่ากำไร	รวมค่าใช้จ่าย	รวมในรูป Factor	ภาษีมูลค่าเพิ่ม Vat	Factor F
5	15.3912	0.7875	5.5000	21.6787	1.2168	1.0700	1.3020
10	11.8735	0.7500	5.5000	18.1235	1.1812	1.0700	1.2639
20	8.37465	0.7125	5.5000	14.5871	1.1459	1.0700	1.2261
30	5.9774	0.7125	5.5000	12.1899	1.1219	1.0700	1.2004
40	5.7934	0.6750	5.0000	11.4684	1.1147	1.0700	1.1927

หมายเหตุ 1. กรณีค่างานอยู่ระหว่างช่วงของค่างานต้นทุนที่กำหนด ให้เทียบอัตราส่วนเพื่อหาค่า Factor F

2. ถ้าเป็นงานเงินกู้ ให้ใช้ Factor F ในช่อง รวมในรูป Factor

เงินล่วงหน้าจ่าย	15 %	ดอกเบี้ยเงินกู้	6 % ต่อปี
เงินประกันภัยผลงานหัก	10 %	ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (Vat)	7 %

2.6 การประเมินราคาค่าก่อสร้างของวิธีการบูรณะทางโดยวิธีเสริมพื้นทาง

2.6.1 งานรื้อผิวทางและไหล่ทาง AC. เดิมออก

ราคาต้นทุนต่อหน่วย(บาท/ตร.ม.) = ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (2.8)

ค่างานต้นทุน(บาท/ตร.ม.) = ปริมาณงาน x ราคาต้นทุนต่อหน่วย (2.9)

2.6.2 งานขุดรื้อพื้นทางเดิม พร้อมบดทับ Scarification & Recomputed

ราคาต้นทุนต่อหน่วย(บาท/ตร.ม.) = ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (2.10)

ค่างานต้นทุน(บาท/ตร.ม.) = ปริมาณงาน x ราคาต้นทุนต่อหน่วย (2.11)

2.6.3 งานหินคลุกเสริมพื้นทาง (15 ซม.)

ค่าวัสดุที่บริเวณทำการก่อสร้าง(บาท/ลบ.ม.) = ค่าวัสดุที่แหล่ง + ค่าขนส่ง (2.12)

บดทับด้วยเครื่องจักร(บาท/ลบ.ม.) = ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (2.13)

ราคาต้นทุน(บาท/ลบ.ม.) = ค่าวัสดุที่หน้างาน + ค่าบดทับเครื่องจักร (2.14)

ค่างานต้นทุน(บาท) = ปริมาณงาน x ราคาต้นทุน (2.15)

2.6.4 งาน Prime Coat

ค่าวัสดุที่บริเวณก่อสร้าง(บาท/ตัน) = ค่าวัสดุที่แหล่ง + ค่าขนส่ง + ค่าแรงขนถ่าย (2.16)

ราคาต้นทุน(บาท/ตร.ม.) = [อัตราการใช้ x ราคาวัสดุที่บริเวณก่อสร้าง] + ค่าดำเนินงาน +ค่าเสื่อมราคา (2.17)

ค่างานต้นทุน(บาท) = ปริมาณงาน x ราคาต้นทุน

(2.18)

2.7 การประเมินราคาค่าก่อสร้างของวิธีการ ปรับปรุงคุณภาพชั้นพื้นทางเดิมในที่

2.7.1 งานปรับปรุงพื้นทางเดิม Pavement In Place Recycling

ปริมาณงาน (m^2) = ความกว้างถนนxความยาวถนน (2.19)

ค่าวัสดุที่บริเวณทำการก่อสร้าง (บาท) = ค่าวัสดุที่แหล่ง + ค่าขนส่ง + ค่าแรงขนถ่าย (2.20)

สรุปค่าดำเนินการทั้งหมด

1.ต้นทุนผันแปร (บาท) = 3.5 * R (R = ค่าวัสดุที่บริเวณทำการก่อสร้าง) (2.21)

2.ต้นทุนคงที่ (บาท) = 8 * F (Factor "F") (2.22)

3.ค่าจ้าง(บาท) = 10 * L (L = อัตราค่าจ้างเฉลี่ย) (2.23)

รายจ่ายทั้งหมดของการก่อสร้าง (บาท) = ราคาที่มีการเปลี่ยนแปลง + ราคาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง + ค่าจ้าง (2.24)

ปริมาณปูนซีเมนต์ (S) = ความลึก x อัตราที่ใช้ x หน่วยน้ำหนักหิน (2.25)

จากสูตร ราคาต้นทุน (N) = [ค่าดำเนินการ+ (ปริมาณปูนซีเมนต์ xค่าวัสดุที่บริเวณทำการก่อสร้าง)] (2.26)

ค่างานต้นทุน = ปริมาณงาน x ราคาต้นทุน (2.27)

2.7.2 งาน Prime Coat

ค่าวัสดุที่บริเวณก่อสร้าง(บาท/ตัน) = ค่าวัสดุที่แหล่ง + ค่าขนส่ง + ค่าแรงขนถ่าย(2.28)

ราคาต้นทุน(บาท/ตร.ม.) = [อัตราการใช้ x ราคาวัสดุที่บริเวณก่อสร้าง] + ค่าดำเนินงาน +ค่าเสื่อมราคา (2.29)

ค่างานต้นทุน(บาท) = ปริมาณงาน x ราคาต้นทุน (2.30)

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม (Factor "F")

จากตาราง Factor F งานก่อสร้าง

$$F = F_1 - \left[(1 - F_2) x \frac{N - (N_2 - N_1)}{(N_2 - N_1)} \right] \qquad (2.31)$$

N1 = ค่างานต้นทุน < 10 ล้านบาท (N1)

N2 = ค่างานต้นทุน < 20 ล้านบาท (N2)

F = 1.2639 (F1) เมื่อ ค่างานต้นทุน < 10 ล้านบาท (N1)

F = 1.2261 (F2) เมื่อ ค่างานต้นทุน < 20 ล้านบาท (N2)