



การควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทาง สำหรับการก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต



สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
กรมทางหลวง

คำนำ

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ มีหน้าที่หลักในการศึกษาและจัดทำข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุงานทาง วิธีการทดสอบวัสดุ การควบคุมและแนะนำคุณภาพของวัสดุในงานก่อสร้างและบำรุงรักษาทางหลวง รวมถึงเสนอแนะปรับปรุงคุณภาพวัสดุที่ใช้ในงานทาง จากภารกิจข้างต้นจะเห็นว่า สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบเป็นหน่วยงานหนึ่งในกรมทางหลวงที่ทำงานด้านวิชาการควบคู่กับการปฏิบัติ ดังนั้นการนำความรู้ทางทฤษฎี การทดลองในห้องปฏิบัติการ และการปฏิบัติงานในภาคสนาม มาผนวกรวมกันให้เป็นแนวทางการปฏิบัติหรือข้อกำหนดต่าง ๆ จึงเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญด้านหนึ่งขององค์กรที่ผู้ปฏิบัติงานจะต้องได้รับการถ่ายทอด และเรียนรู้ผ่านกระบวนการจัดการความรู้ที่ดีและมีประสิทธิภาพ

เอกสารเรื่อง การควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทางสำหรับการก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต เป็นส่วนหนึ่งของโครงการจัดทำคลังข้อมูลงานทางของสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินการจัดการความรู้ซึ่งเป็นการระดมความคิดเห็น ความรู้ เทคนิคและประสบการณ์ต่าง ๆ จากผู้เชี่ยวชาญ ผู้ปฏิบัติงาน เจ้าหน้าที่หรือผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยมุ่งหวังให้เป็นสื่อกลางถ่ายทอดสู่บุคลากรผู้ปฏิบัติงานให้สามารถใช้เป็นแนวทางในการควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทางสำหรับการก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต เพื่อให้มีกระบวนการควบคุมคุณภาพที่เหมาะสมและเป็นไปในรูปแบบที่สอดคล้องกัน อีกทั้งเป็นการช่วยเพิ่มคุณภาพผลงานให้ดียิ่งขึ้น

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารเรื่อง การควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทางสำหรับการก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตนี้ จะเป็นสื่อกลางในการถ่ายทอดความรู้อย่างต่อเนื่องสู่เจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานบุคลากรในหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อองค์กรและประเทศต่อไป

คณะทำงานโครงการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ชุมชนนักปฏิบัติ

เรื่อง การควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทางสำหรับ
การก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

DISCLAIMER

The contents do not necessarily reflect the official views or policies of the Department of Highways, Thailand. Department of Highways does not endorse products or manufacturers. Trademarks or manufacturers' names appear in this report only because they are considered essential to the objectives of the document. This report does not constitute any standard, specification, or regulation. The authors assume no responsibility or liability for any errors or omissions in the content of this report. The information contained in this report is provided on an "as is" basis with no guarantees of completeness, accuracy, usefulness or timeliness. Any action you take upon the information on this report is strictly at your own risk

สารบัญ

คำนำ	1
Disclaimer	2
สารบัญ	3
บทนำ การก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต	4
ส่วนที่ 1 ข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างถนนคอนกรีต	15
ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง (Standard Drawing)	
ส่วนที่ 2 การควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทางสำหรับการก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต	27
1. การควบคุมคุณภาพวัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีต	27
2. การควบคุมคุณภาพวัสดุหลักเสริมโครงสร้างถนนคอนกรีต	65
3. การควบคุมคุณภาพวัสดุสำหรับใส่รอยต่อ	75
4. การควบคุมคุณภาพวัสดุรองถนนคอนกรีต	82
5. การควบคุมคุณภาพวัสดุใช้ประกอบการบ่มคอนกรีต (CONCRETE CURING)	85
ส่วนที่ 3 การควบคุมการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	88
ส่วนที่ 4 การควบคุมโรงผสมคอนกรีต	95
ส่วนที่ 5 การควบคุมคุณภาพการก่อสร้างภาคสนาม	101
ส่วนที่ 6 การสำรวจค่าความเรียบของถนน	135
คำสั่งแต่งตั้ง คณะทำงานโครงการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ชุมชนนักปฏิบัติ	143
เอกสารอ้างอิง	146
ภาคผนวก	147

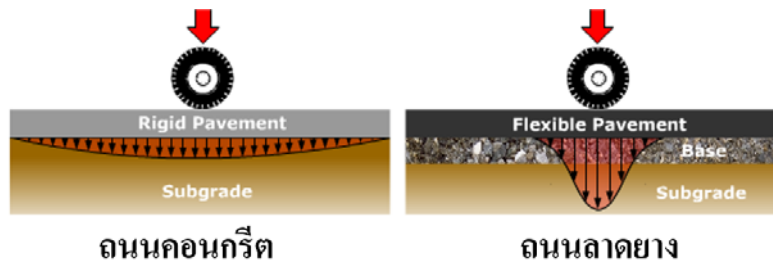
บทนำ

การก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

ถนนถูกสร้างขึ้นเพื่อการจราจร โดยมีโครงสร้างชั้นทางถ่ายน้ำหนักล้อของยานพาหนะ สู่ชั้นทางด้านล่าง โครงสร้างถนนจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอสามารถกระจายหน่วยแรงจากล้อยานพาหนะให้อยู่ในระดับที่ไม่ทำให้ดินเดิมและโครงสร้างชั้นทางด้านล่าง เกิดความเสียหายและยุบตัวเป็นร่องล้อ เพื่อการประหยัดค่าก่อสร้าง โครงสร้างของวัสดุคุณภาพดีที่เรียงซ้อนทับกันเป็นชั้น (Composite Layers) นอกจากนี้แล้ววัสดุโครงสร้างถนนควรมีคุณสมบัติที่ทนทานสามารถคงความแข็งแรงในสภาวะชุ่มน้ำจากน้ำท่วมหรือสามารถระบายน้ำได้ดี เพื่อลดความชื้นสะสมในวัสดุ

วิศวกรผู้ออกแบบทางควรพิจารณาปัจจัยที่ใช้ในการเลือกใช้ชนิดและความหนาผิวทางที่เหมาะสม ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีอยู่ด้วยกันหลายด้านเช่น ปริมาณจราจร สภาพชั้นดิน สภาพภูมิอากาศ วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ทางวิธีการก่อสร้าง วัสดุที่มีในพื้นที่ก่อสร้าง การบำรุงดูแลรักษา และปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆ

ถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตมีข้อดีกว่าถนนแอสฟัลต์คอนกรีต ในด้านของความสามารถในการกระจายความเค้นลงสู่ชั้นดินด้านล่าง ด้านทานการเกิดรื้อล้อ ค่าใช้ในการบำรุงรักษาต่ำ แต่การบูรณะซ่อมแซมทำได้ยากกว่าและใช้เวลามากกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ถนนคอนกรีตสายแรกของประเทศไทยที่ก่อสร้างโดยกรมทางหลวง คือ ถนนพหลโยธิน ช่วง อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ – ลาดพร้าว ระยะทางประมาณ 6 กม.กรมทางหลวงได้ออกแบบก่อสร้างถนนคอนกรีต ในปี 2503 ปัจจุบันถนนคอนกรีตภายใต้การควบคุมของกรมทางหลวง มีอยู่ทั้งหมดประมาณ 5,000 กม.



รูปที่ 1 การถ่ายแรงถนนคอนกรีตและถนนลาดยาง

ที่มา: http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_types.htm

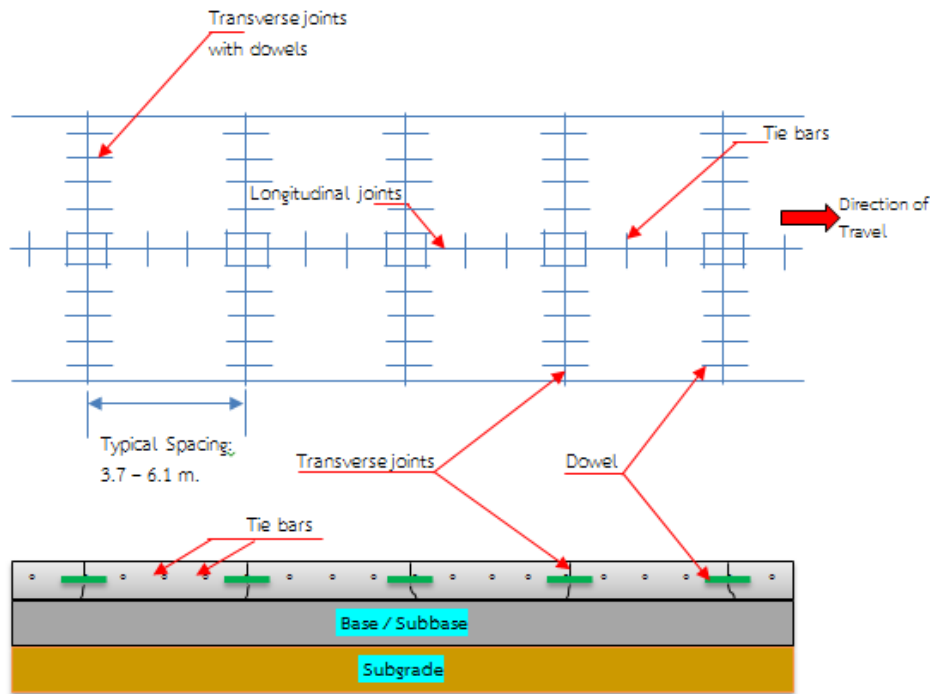
วันที่อ้างอิงข้อมูล: 25 เมษายน 2560

ถนนคอนกรีตแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. Joint Plain Concrete Pavement (JPCP)

Joint Plain Concrete Pavement (JPCP) เป็นถนนคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กสำหรับป้องกันการแตกร้าวของแผ่นคอนกรีต อาศัยการขัดกันของมวลรวม (Aggregate Interlocking) บริเวณรอยต่อในการ

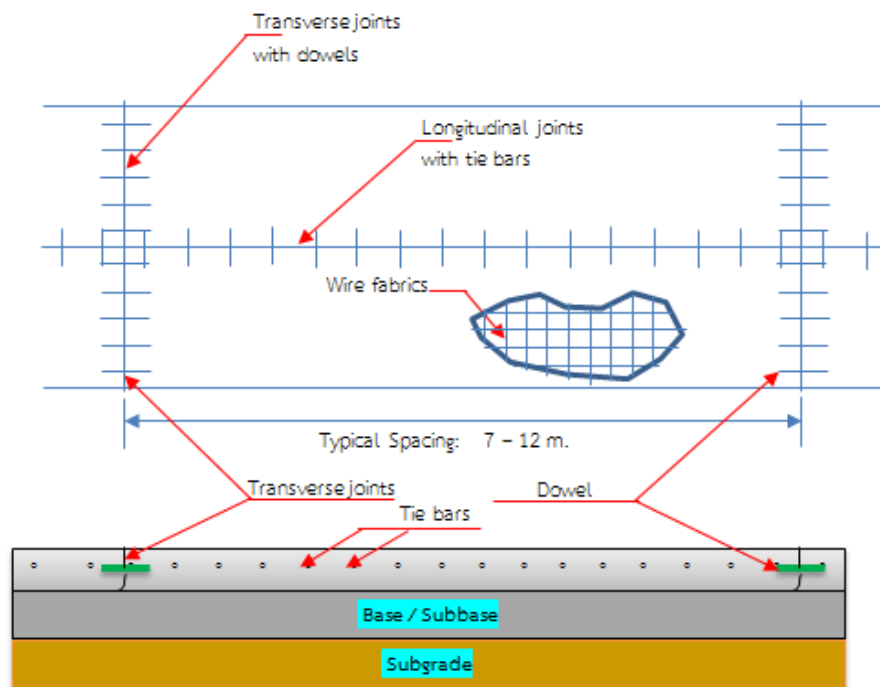
ถ่ายเทแรงระหว่างแผ่นคอนกรีต แต่ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ในถนนที่มีปริมาณการจราจรสูง จึงใช้เหล็กเดือย (Dowel) เพื่อเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทแรงระหว่างแผ่นคอนกรีต ลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตและลดการเกิด Pumping เนื่องจากไม่มีการเสริมเหล็กกันการแตกร้าว ระยะห่างของรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตจึงไม่ห่างกันมากนัก โดยทั่วไปจะมีระยะห่างที่ 5 – 10 เมตร แต่ที่ผ่านมารกรมทางหลวงเลือกใช้ระยะห่างระหว่างรอยต่อที่ 4 – 6 เมตร



รูปที่ 2 รายละเอียดถนน Joint Plain Concrete Pavement (JPCP)

2. Joint Reinforced Concrete Pavement (JRCP)

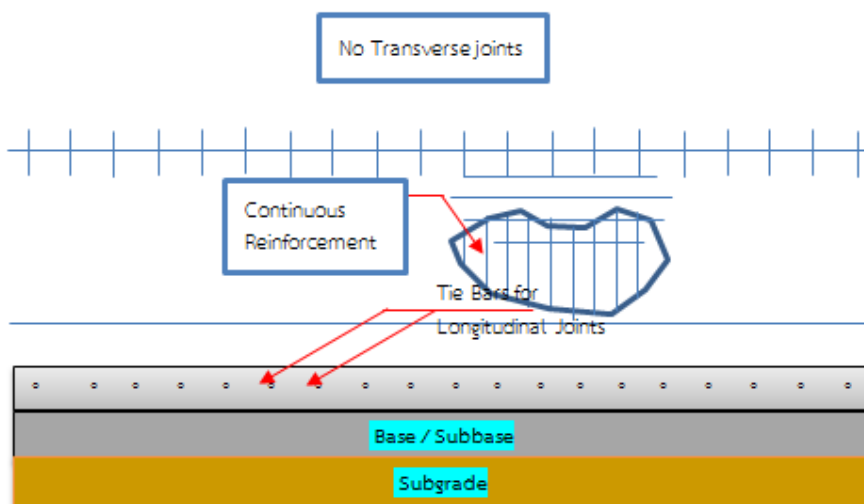
Joint Reinforced Concrete Pavement (JRCP) เป็นถนนคอนกรีตที่มีการเสริมเหล็กกันการแตกร้าวจากการยืดหดตัวของคอนกรีต โดยเป็นการเสริมเหล็กที่ผิวด้านบนของแผ่นคอนกรีต และมีการติดตั้งเหล็กเดือยสำหรับถ่ายเทแรงระหว่างแผ่นคอนกรีตเช่นเดียวกับถนนคอนกรีตรูปแบบ JPCP เนื่องจากมีเหล็กเสริมกันการแตกร้าวทำให้ระยะห่างของรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตยาวขึ้นได้ถึง 10 – 30 เมตร ในปัจจุบันกรมทางหลวงจะกำหนดให้มีระยะห่างอยู่ที่ 10 เมตร ถนนคอนกรีตแบบนี้เป็นรูปแบบที่กรมทางหลวงใช้มากที่สุด และได้จัดทำเป็นแบบมาตรฐาน



รูปที่ 3 รายละเอียดถนน Joint Reinforced Concrete Pavement (JRCP)

3. Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)

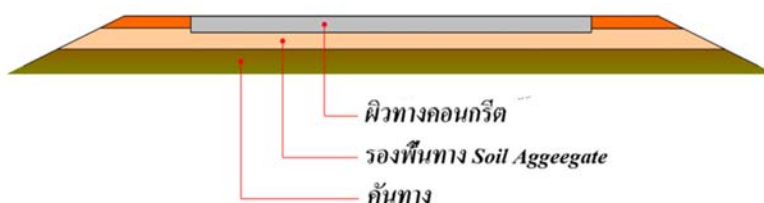
Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) เป็นถนนคอนกรีตที่มีการเสริมเหล็กกันการแตกร้าวเช่นเดียวกัน แต่ใช้ปริมาณของเหล็กเสริมมากเป็นพิเศษ เพื่อยึดรอยแตกร้าวเข้าไว้ด้วยกันจึงไม่จำเป็นต้องมีรอยต่อระหว่างแผ่น เพื่อเป็นจุดบังคับการแตกร้าว เหมือนถนนคอนกรีตแบบ JPCP และ JRCP โดยเหล็กทำหน้าที่ควบคุมความกว้างรอยแตกและระยะห่างระหว่างรอยแตก



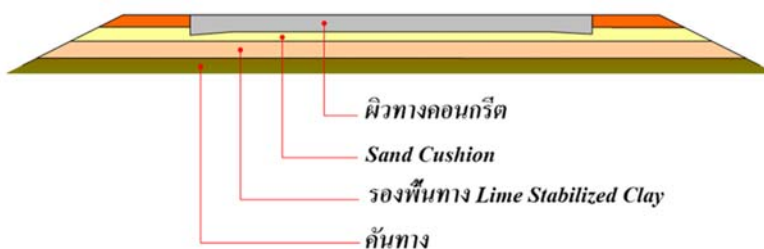
รูปที่ 4 รายละเอียดถนน Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)

ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางนั้นเป็นการออกแบบคัดเลือกชนิดวัสดุที่จะนำมาใช้ และกำหนดคุณสมบัติวัสดุและคำนวณหาความหนาของวัสดุแต่ละชั้น ซึ่งต้องคำนึงถึงการรับน้ำหนักกระจายหน่วยแรงและความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมในระหว่างอายุการใช้งาน สำหรับอายุการใช้งานนี้หลายคนเข้าใจว่าถนนควรรองรับการใช้งานได้ตลอดอายุเวลาที่กำหนดไว้โดยไม่เกิดความเสียหายใด ๆ ซึ่งเป็นความเข้าใจดังกล่าวนั้นถูกต้องเพียงครึ่งเดียว ความเข้าใจที่ถูกต้องคือความหนาของวัสดุชั้นทางที่ได้จากการคำนวณออกแบบใช้งานตามอายุเวลาที่กำหนดโดยไม่เกิดความเสียหายต่อดินเดิมและโครงสร้างไม่พังทลายในระหว่างอายุการใช้งาน แต่ความเสียหายที่เกิดกับผิวทางจากการสึกหรอหรือขีดสัระหว่างล้อกับวัสดุผิวหรือการเสื่อมสภาพของวัสดุผิวทางจากอุณหภูมิสภาพแวดล้อมอากาศ ความชื้นย่อมเกิดขึ้นได้ในระหว่างอายุการใช้งานที่กำหนด จึงต้องมีการบำรุงรักษาผิวทางเพื่อสามารถป้องกันไม่ให้น้ำซึมผ่านไปทำลายโครงสร้างชั้นทางจนเสียหาย ทั้งนี้โครงสร้างถนนคอนกรีตของกรมทางหลวง มี 5 แบบ คือ

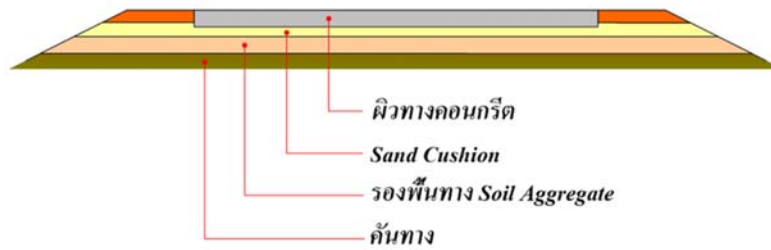
1. ผิวทาง PCC + รองพื้นทางแบบ Soil Aggregates ยกตัวอย่างเช่น ถนนพหลโยธิน ช่วงอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ – ลาดพร้าว และถนนเพชรเกษม ช่วงบางแค - นครปฐม
2. ผิวทาง PCC + Sand Cushion + รองพื้นทางแบบ Lime Stabilized Clay ยกตัวอย่างเช่น ถนนวิภาวดีรังสิต ช่วงดินแดง – ดอนเมือง
3. ผิวทาง PCC + Sand Cushion + รองพื้นทางแบบ Soil Aggregates ยกตัวอย่างเช่น ถนนจรัล-สินทวงศ์
4. ผิวทาง PCC + Crushed rock base + รองพื้นทางแบบ Soil Aggregates ยกตัวอย่างเช่น ถนนสายบางปะอิน – นครสวรรค์ และถนนสายสระบุรี – โคราซ ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง แลมนบึง-พญา
5. ผิวทาง PCC + Cement Modified Crushed rock base + รองพื้นทางแบบ Soil Aggregates ยกตัวอย่างเช่น ถนนสายรังสิต – สระบุรี



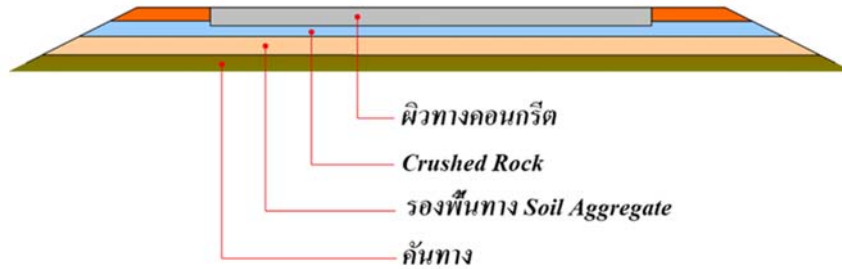
รูปที่ 5 ผิวทาง PCC + รองพื้นทางแบบ Soil Aggregates



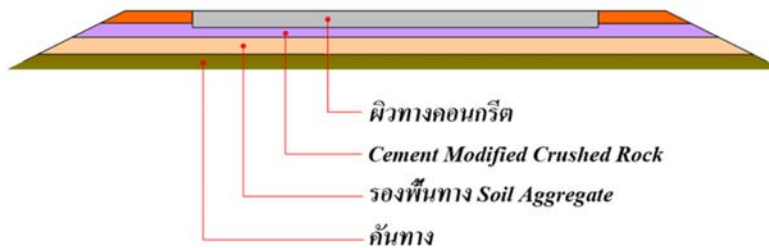
รูปที่ 6 ผิวทาง PCC + Sand Cushion + รองพื้นทางแบบ Lime Stabilized Clay



รูปที่ 7 ผิวทาง PCC + Sand Cushion + รองพื้นทางแบบ Soil Aggregates



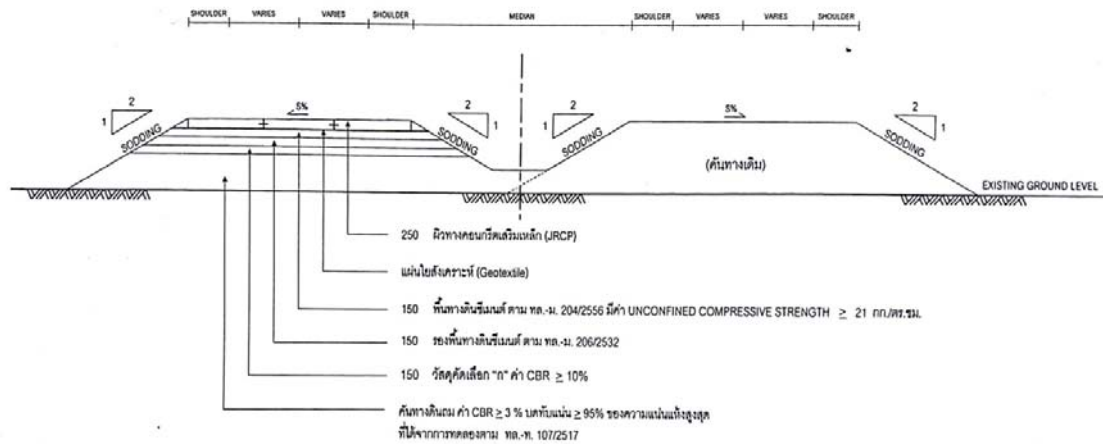
รูปที่ 8 ผิวทาง PCC + Crushed Rock Base + รองพื้นทางแบบ Soil Aggregates



รูปที่ 9 ผิวทาง PCC + Cement Modified Crushed Rock Base + รองพื้นทางแบบ Soil Aggregates

การก่อสร้างถนนคอนกรีตในช่วงแรก ผิวทางคอนกรีตถูกออกแบบให้วางลงบนชั้นดินคันทางโดยตรง เมื่อมีการใช้งานไปได้ระยะหนึ่ง พบว่ามีปัญหาการอัดทะลักของวัสดุชั้นล่างขึ้นมาที่ผิวทางคอนกรีตด้านบนตามบริเวณรอยต่อและรอยแตกต่าง ๆ ต่อมาได้มีการปรับปรุงโดยใช้ชั้นทรายรองผิวทางคอนกรีต ส่งผลให้ถนนมีอายุการใช้งานมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากถนนคอนกรีตถูกออกแบบภายใต้สมมติฐานว่า พื้นผิวถนนคอนกรีตทั้งหมดจะต้องถูกรองรับด้วยโครงสร้างด้านล่างอย่างทั่วถึง น้ำหนักบรรทุกทุกสามารถกระจายได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นการเกิดช่องว่างหรือโพรงใต้พื้นผิวถนนคอนกรีตจากสาเหตุเช่น การกัดกร่อนของวัสดุชั้นล่างหรือการเกิดการหดและขยายตัวของดินคันทาง จะให้อายุการใช้งานของถนนลดลง เนื่องจากลักษณะไม่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ใช้ในการออกแบบไว้

ปัจจุบันโครงสร้างถนนคอนกรีตได้ถูกพัฒนาอย่างมาก ดังเช่นที่ทางหลวงหมายเลข 209 วงแหวนรอบเมืองนครราชสีมา ตอน 1 ช่วง กม. 2+400 – กม. 17+600 กรมทางหลวงได้ออกแบบโดยใช้แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) กันระหว่างผิวทางคอนกรีตและวัสดุชั้นพื้นทางแทนการใช้ชั้นทรายรองผิวคอนกรีต



รูปที่ 10 แบบรูปตัดโครงสร้างชั้นทาง ทางหลวงหมายเลข 290 ถนนวงแหวนรอบเมืองนครราชสีมา ตอน 1 ระหว่าง กม. 2+400 – กม. 17+600



รูปที่ 11 การใช้แผ่นใยสังเคราะห์แทนชั้นทรายรองผิวถนนคอนกรีต



รูปที่ 12 การวางแผนโยสั้งเคราะห์ได้ผิวทางถนนคอนกรีต

นอกจากนี้แล้ว ในต่างประเทศได้มีการใช้ชั้นพื้นทางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ (Asphalt treated Base, ATB) หรือแอสฟัลต์คอนกรีต มาแก้ปัญหาการกัดกร่อนของวัสดุด้านล่างอีกวิธีหนึ่ง เนื่องจากแอสฟัลต์จะทำหน้าที่เคลือบผิวมวลรวม เป็นตัวประสานมวลรวมให้ยึดติดกันและลดช่องว่างระหว่างมวลรวมพื้นทาง ATB จึงสามารถกันน้ำซึมลงชั้นดินคันทางได้ดีกว่าพื้นทางที่ทำจากวัสดุมวลรวมปกติ อีกทั้งยังมีความแข็งแรงมากกว่าโดยประมาณ 3 เท่า ทั้งนี้กรมทางหลวง ได้ดำเนินการก่อสร้างชั้นผิวทางคอนกรีตบนชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตในโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 ศรีราชา - อ่าวอุดม ตามรูปที่ 13

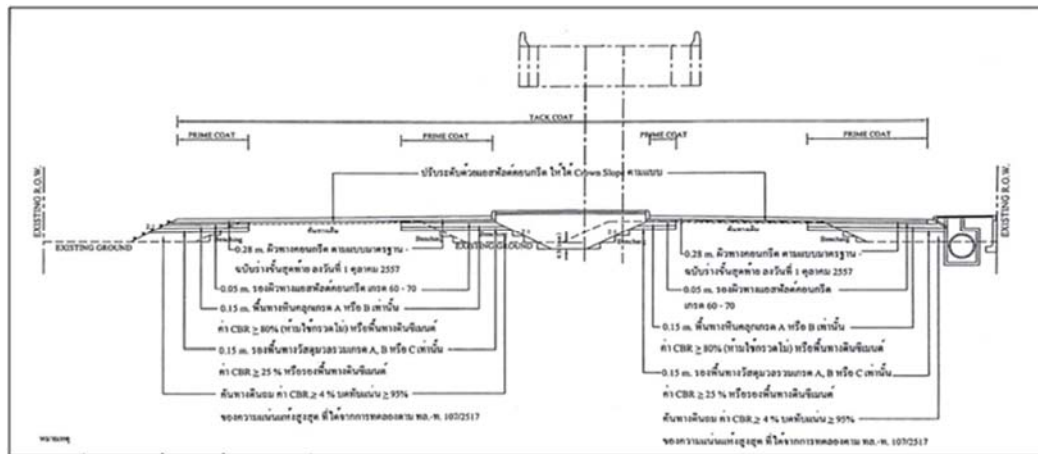


รูปที่ 13 พื้นทางมวลรวมปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์

ที่มา: <http://www.pavementinteractive.org/pavement-types/asphalt-concrete-base-acb/>

: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif16005.pdf>

วันที่อ้างอิงข้อมูล: 15 สิงหาคม 2560



รูปที่ 14 แบบรูปตัดโครงสร้างชั้นทาง ทางหลวงหมายเลข 3 ศรีราชา – อ่าวอุดม (ช่วงที่ผิวทางเป็นคอนกรีต)



รูปที่ 15 การตั้งแบบคอนกรีต ทางหลวงหมายเลข 3 ศรีราชา – อ่าวอุดม, การเจาะนำด้วยสว่าน (ซ้าย)
การตอกหมุดยึดแบบคอนกรีต (ขวา)



รูปที่ 16 การก่อสร้าง ทางหลวงหมายเลข 3 ศรีราชา – อ่าวอุดม, การเทคอนกรีต (ซ้าย) ผิวทางคอนกรีตหลัง
ดำเนินการแล้วเสร็จ (ขวา)

การปรับปรุงคุณสมบัติของโครงสร้างชั้นพื้นทางถนนคอนกรีต โดยการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ ดังเช่น Soil Cement Base, Cement Treated Base หรือ Lean Concrete จะต้องแยกผิวสัมผัสของผิวทางคอนกรีตและชั้นพื้นทางออกจากกันด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ หรือแอสฟัลต์คอนกรีต (Bone Breaker Layer) เพื่อป้องกันการเชื่อมต่อประสานกัน ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการแตกร้าวจากชั้นด้านล่างสู่ผิวบนตามมาในภายหลัง

การออกแบบถนนในปัจจุบันควรหลีกเลี่ยงการออกแบบรอยต่อเพื่อการขยายตัวตามแนวขวาง (Expansion Joint) เนื่องจากในอดีต วิศวกรจะออกแบบให้มีทั้งรอยต่อเพื่อการหดตัว (Contraction Joint) และรอยต่อเพื่อการขยายตัว เพื่อลดความเค้นภายในเนื้อวัสดุ ป้องกันการขยายตัวจนเกิดการพองตัวที่ผิวของถนน (Blow Up) แต่จากการศึกษาจาก the U.S. Bureau of public Roads พบว่ารอยต่อเพื่อการขยายตัวตามแนวขวางจะเคลื่อนตัวชิดกันมากขึ้น ส่งผลให้รอยต่อเพื่อการหดตัวมีช่องเปิดกว้างขึ้น ดังนั้นความสามารถในการป้องกันการซึมของน้ำที่บริเวณรอยต่อนี้จึงลดลงตามไปด้วย และเกิดปัญหาเรื่องการกัดกร่อนของวัสดุรองถนนคอนกรีตและเกิดการอัดทะลัก

ถนนคอนกรีตที่มีไหล่ทางเป็นคอนกรีต จะมีอายุการใช้งานที่ยาวกว่าถนนคอนกรีตที่ไม่มีไหล่ทางหรือมีไหล่ทางเป็นวัสดุมวลรวมหรือแอสฟัลต์คอนกรีต เนื่องจากไหล่ทางสามารถป้องกันปัญหาล้อของบรรทุกหนักตกขอบถนนหลักโดยตรงได้ ซึ่งทำให้เกิดความเค้นที่สูงมากบริเวณขอบนอกของช่องจราจรที่รถบรรทุกวิ่ง ส่งผลให้ผิวทางคอนกรีตเกิดการเคลื่อนตัวและแตกร้าว โดยการก่อสร้างไหล่ทาง นั้นควรที่จะก่อสร้างโดยใช้วัสดุคุณภาพและชนิดเดียวกับตัวถนนหลัก เนื่องจากในประเทศไทยมีรถบรรทุกหนักวิ่งในบริเวณไหล่ทางดังแสดงในรูปที่ 17 สำหรับกรณีการใช้ไหล่ทางวัสดุต่างชนิดกัน มักพบปัญหาการเกิดรอยต่อตามแนวยาวระหว่างไหล่ทางแอสฟัลต์คอนกรีตและผิวทางคอนกรีตส่งผลให้น้ำซึมลงไประดับล่างได้ทำให้อายุการใช้งานของถนนสั้นลง ดังนั้นถนนผิวทางคอนกรีตควรมีไหล่ทางที่เป็นคอนกรีตยึดเชื่อมกันด้วยเหล็กข้ออ้อย (Tie bar) เพื่อทำหน้าที่ในการถ่ายแรง ลดความเค้นภายในเนื้อวัสดุคอนกรีต และป้องกันการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์กับถนนหลัก



รูปที่ 17 รถหนักวิ่งไหล่ทาง

การก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตให้ได้ตามมาตรฐานนั้น นอกจากการควบคุมการก่อสร้างให้เป็นไปตามขั้นตอนตามมาตรฐานงานทางและข้อกำหนดแล้ว การควบคุมคุณภาพวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ถนนคอนกรีตที่ก่อสร้างนั้นมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานงานทางและข้อกำหนด โดยที่คู่มือฉบับนี้ ได้กำหนดขอบเขตของเนื้อหาที่สำคัญแบ่งเป็น 6 ส่วน ดังนี้

1. ข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างถนนคอนกรีตตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง
2. การควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทางสำหรับการก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต
3. การควบคุมการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต
4. การควบคุมโรงผสมคอนกรีต
5. การควบคุมงานก่อสร้างที่หน้างาน
6. การสำรวจค่าความเรียบของถนน

การควบคุมงานก่อสร้างถนนคอนกรีต ใช้มาตรฐานงานทางที่ ทล.-ม.309/2544 “มาตรฐานถนนปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์คอนกรีต” เป็นคู่มือในการควบคุมงาน ซึ่งปรับปรุงจากมาตรฐานงานทางที่ทล.-ม.409/2530 “มาตรฐานข้อกำหนดการควบคุมงานก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต”

คู่มือฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางการควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทางสำหรับการก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตประเภทที่มีรอยต่อ (Joint) ซึ่งได้แก่ ถนนคอนกรีตประเภท Joint Plain Concrete Pavement (JPCP) และ Joint Reinforced Concrete Pavement (JRCP) เท่านั้น พร้อมทั้งแนบข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างถนนคอนกรีตตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง (Standard Drawing) มา ณ ที่นี้ด้วย

ส่วนที่ 1

ข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างถนนคอนกรีต ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง (Standard Drawing)

รายละเอียดประกอบแบบต่าง ๆ ที่แสดง ณ ที่นี้ คณะผู้จัดทำได้อ้างอิงจาก STANDARD DRAWINGS FOR HIGHWAY DESIGN AND CONSTRUCTION 2015 REVISION โดยกรมทางหลวง ทั้งนี้การก่อสร้างจะต้องอ้างอิงมาตรฐานและข้อกำหนดที่แสดงในแบบก่อสร้างเป็นหลัก

รายการประกอบแบบสำหรับถนนคอนกรีตชนิด JRC

1. การก่อสร้างถนนคอนกรีตจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล.-ม.309/2544 ซึ่งเป็น “มาตรฐานถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต” ยกเว้นที่ระบุไว้ในแบบ โดยก่อสร้างบนชั้นทรายรองถนนคอนกรีต ตาม ทล.-ม.211 หรือ ชั้นหินคลุกรองถนนคอนกรีตตาม ทล.-ม.212
2. คอนกรีตสำหรับผิวทางคอนกรีตแบบมีรอยต่อ (JRC) จะต้องมีความสมบัตินี้
 - 2.1 คอนกรีตต้องมีกำลังต้านทานแรงอัดประลัยไม่น้อยกว่า 32 MPa (325 ksc) สำหรับตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ ขนาด 0.15x0.15x0.15 ม. ที่อายุ 28 วัน โดยคอนกรีตจะต้องมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (PORTLAND CEMENT) ไม่น้อยกว่า 350 กก/ลบ.ม. และต้องมีค่า w/c ไม่มากกว่า 0.55 โดยน้ำหนัก และค่ายุบตัวต้องไม่น้อยกว่า 0.03 ม. และไม่เกิน 0.07 ม.
 - 2.2 ปูนซีเมนต์ มีความสมบัติตาม มอก.15 ประเภท 1 หรือประเภทอื่นที่ได้รับความเห็นชอบ
 - 2.3 วัสดุมวลรวม จะต้องมีความสมบัติตามข้อกำหนดที่ ทล.-ก.201 สำหรับมวลรวมละเอียด และข้อกำหนดที่ ทล.-ก.202 สำหรับมวลรวมหยาบ
 - 2.4 สารเคมีผสมเพิ่มมีความสมบัติตาม มอก.733 จะใช้เมื่อได้รับความเห็นชอบ
3. เหล็กเสริมสำหรับผิวทางคอนกรีต JRC ทั้งชนิดตะแกรงเหล็กเส้น หรือแผงลวดตาข่าย (STEEL WIRE FABRIC) ต้องมีความสมบัตินี้
 - 3.1 ตะแกรงเหล็กเส้น มีความสมบัติตามมาตรฐานเลขที่ มอก.20 เกรด SR24 สำหรับเหล็กเส้นกลม (ROUND BAR) และมาตรฐานเลขที่ มอก. 24 เกรด SD40 สำหรับเหล็กข้ออ้อย (DEFORMED BAR)
 - 3.2 แผงลวดตาข่าย (STEEL WIRE FABRIC) มีความสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “ตะแกรงลวดเหล็กกล้าเชื่อมติดเสริมคอนกรีต” มาตรฐานเลขที่ มอก.737 โดยจะต้องส่งตัวอย่างแผงตาข่ายให้กรมทางหลวงทดสอบรายละเอียดต่างๆ หรือโดยสถาบันที่ได้รับการยอมรับจากกรมทางหลวงก่อนที่จะนำไปใช้งาน โดยลวดที่ใช้จะต้องมีความสมบัติวัสดุดังต่อไปนี้ลวดเหล็กกล้าข้ออ้อยดัดเย็นเสริมคอนกรีต (CDD) จะต้องมีความสมบัติตามมาตรฐาน มอก.943 มีค่าต้านทานแรงดึงสูงสุดไม่น้อยกว่า 585 MPa (5850 ksc) และมีค่าความเค้นพิสูจน์ที่ยืดร้อยละ 0.5 (YIELD STRENGTH, f_y) ไม่น้อยกว่า 515 MPa (5150 ksc) ลวดเหล็กกล้าดัดเย็นเสริม

คอนกรีต (CDR) จะต้องมีความสมบัติตามมาตรฐาน มอก.747 มีค่าต้านทานแรงดึงสูงสุดไม่น้อยกว่า 550 MPa (5500 ksc) และมีค่าความเค้นพิสูจน์ที่ยืดร้อยละ 0.5 (YIELD STRENGTH, f_y) ไม่น้อยกว่า 485 MPa (4850ksc)

- 3.3 ระยะหุ้ม (COVERING) จะต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ในแบบ ระยะในการทาบทเหล็กเส้นและตะแกรงลวดเหล็กกล้าข้ออ้อยเชื่อมติดเสริมคอนกรีตต้องไม่น้อยกว่า 40 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กและไม่น้อยกว่าระยะห่างของเหล็ก (SPACING) ± 0.05 ม.
- 3.4 การออกแบบเหล็กเสริมต้องใช้ความกว้างของถนนที่ระยะ ULTIMATE STAGE โดยความกว้างของถนน (w) วัดจากขอบอิสระถึงขอบอิสระ (ไม่รวมเหล็กยึด)
4. การเทคอนกรีตต้องใช้เครื่องปูผิวทางคอนกรีต (CONCRETE PAVER) ในกรณีจำเป็นที่จะต้องเทคอนกรีตด้วยแรงงานคน ให้ได้เฉพาะช่วงที่เว้นไว้ยาวติดต่อกันไม่เกิน 30 เมตร
 - 4.1 พิกัดความสามารถได้ของคอนกรีต ค่าความยุบตัวของคอนกรีต ไม่น้อยกว่า 0.03 ม. และไม่มากกว่า 0.07 ม. ค่ายุบตัวทดลองตาม ทล.-ท. 304 ในกรณีใช้เครื่องปูแบบเลื่อน ค่ายุบตัวต้องอยู่ในช่วง ± 0.02 ม. จากค่ายุบตัวที่ออกแบบไว้
 - 4.2 เครื่องปูคอนกรีต จะต้องเป็นเครื่องที่เลื่อนไปมาได้อัตโนมัติบนแบบหล่อหรือบนรางที่ติดตั้งไว้ด้านข้างแบบหล่อ พร้อมติดตั้งเครื่องเกลี่ยคอนกรีตให้แผ่กระจายเต็มผิวหน้าของแบบ
 - 4.3 เครื่องสั่นสะเทือน จะต้องสั่นสะเทือนได้เต็มความกว้างของแผ่นพื้นที่หล่อ ทั้งชนิดแผ่นสั่นสะเทือนหรือชนิดสั่นสะเทือนภายใน แต่จะต้องไม่กระทบกับแบบหล่อ เหล็กเดือยหรือเหล็กยึด
5. รอยต่อทุกประเภทยกเว้นรอยต่อเพื่อการขยายตัว (EXPANSION JOINT) ต้องก่อสร้างโดยใช้เครื่องตัดคอนกรีต (SLOT CUTTING MACHINE) เท่านั้น ห้ามใช้ไม้ โฟม หรือวัสดุต่าง ๆ ในการคั่นทำรอยต่อ
6. แผ่นพลาสติกรองพื้นคอนกรีต (PLASTIC SHEET) ที่ใช้ในการก่อสร้างต้องไปตามข้อกำหนดตามแบบเลขที่ GD-602
7. รอยต่อเพื่อการขยายตัว (EXPANSION JOINT) ให้ก่อสร้างในกรณีที่ขยายผิวจราจรเดิม ในตำแหน่งที่มีรอยต่อเพื่อการขยายตัวเดิมบริเวณจุดเชื่อมต่อกับโครงสร้างสะพาน หรือแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณคอสะพาน (APPROACH SLAB)
8. ความหนาของผิวทางคอนกรีต กำหนดโดยวิศวกรผู้ออกแบบตามรูปตัดถนนของโครงการ
9. เหล็กเสริมถนนคอนกรีต JRCP ให้ใช้ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 ในกรณีที่ความกว้างถนนตามขวาง (w) มากกว่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 1 ให้ใช้สมการ (EQUATION 1) คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมสำหรับถนนคอนกรีต

ตารางที่ 1 เหล็กเสริมของถนน JRCP (กรมทางหลวง, 2558)

TYPE OF STEEL	SLAB THICKNESS (T) = 0.23 M.			SLAB THICKNESS (T) = 0.25 M.			SLAB THICKNESS (T) = 0.28 M.		
	ROAD WAY WIDTH (W)	SPACING OF TRANSVERSE BARS (X)	SPACING OF LONGITUDINAL BARS (Y)	ROAD WAY WIDTH (W)	SPACING OF TRANSVERSE BARS (X)	SPACING OF LONGITUDINAL BARS (Y)	ROAD WAY WIDTH (W)	SPACING OF TRANSVERSE BARS (X)	SPACING OF LONGITUDINAL BARS (Y)
RB9	0 < W ≤ 6.20	0.300	0.175	0 < W ≤ 5.70	0.300	0.150	0 < W ≤ 5.10	0.300	0.150
	6.20 < W ≤ 7.50	0.250		5.70 < W ≤ 6.90	0.250		5.10 < W ≤ 6.10	0.250	
	7.50 < W ≤ 9.40	0.200		6.90 < W ≤ 8.60	0.200		6.10 < W ≤ 7.70	0.200	
DB12	0 < W ≤ 18.60	0.300	0.300	0 < W ≤ 17.10	0.300	0.300	0 < W ≤ 15.30	0.300	0.300
	18.60 < W ≤ 20.30	0.275		17.10 < W ≤ 18.60	0.275		15.30 < W ≤ 16.60	0.275	
CDR6	0 < W ≤ 11.00	0.150	0.150	0 < W ≤ 10.00	0.150	0.150	-	-	-
CDR9	0 < W ≤ 25.00	0.150	0.150	0 < W ≤ 23.00	0.150	0.150	0 < W ≤ 20.50	0.150	0.150
	25.00 < W ≤ 38.00	0.100		23.00 < W ≤ 35.00	0.100		20.50 < W ≤ 31.00	0.100	
CDD6	0 < W ≤ 11.00	0.150	0.150	0 < W ≤ 11.00	0.150	0.150	-	-	-
CDD9	0 < W ≤ 26.50	0.150	0.150	0 < W ≤ 24.50	0.150	0.150	0 < W ≤ 22.20	0.150	0.150
	26.50 < W ≤ 40.00	0.100		24.50 < W ≤ 37.00	0.100		22.00 < W ≤ 33.00	0.100	

REMARK: ROAD WAY WIDTH SHOULD BE CONSIDERED AS THE DISTANCE BETWEEN FREE LONGITUDINAL EDGES (NOT TIE BAR)

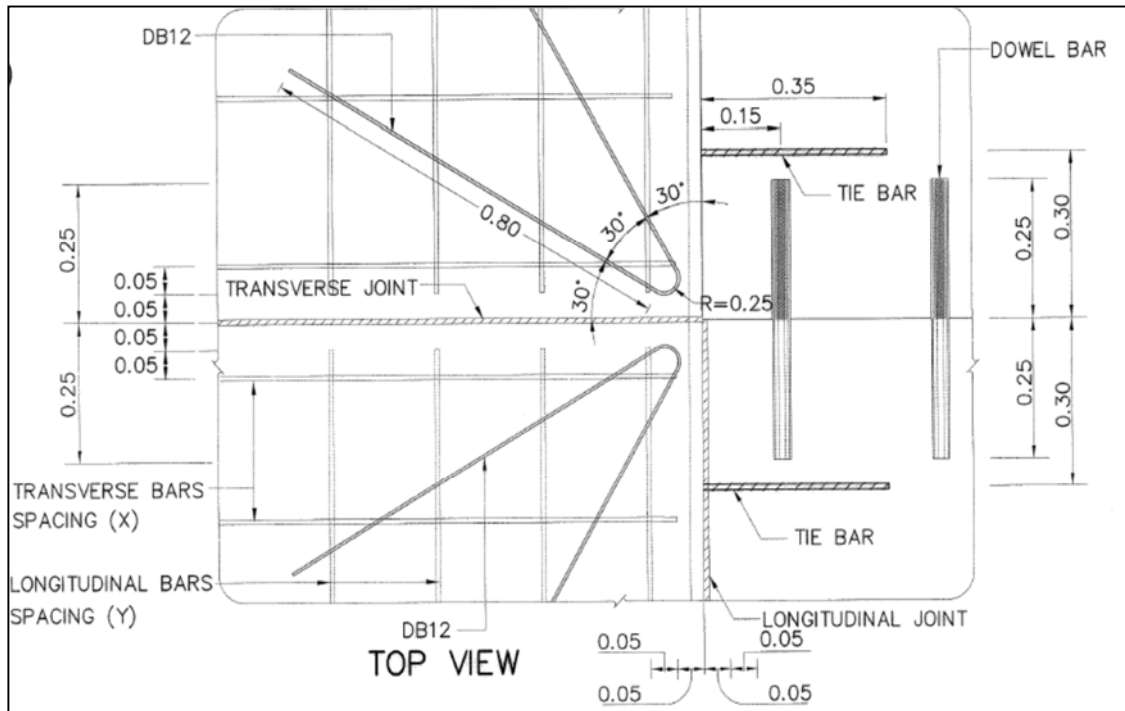
ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างแผ่นคอนกรีตกับวัสดุชั้นรองพื้นทางคอนกรีต
(AASHTO Guide Design for Pavement Structure, 1993)

TYPE OF MATERIAL BENEATH THE SLAB	FRICTION FACTOR (f_a)
SURFACE TREATMENT	2.2
LIME STABILIZATION	1.8
ASPHALT STABILIZATION	1.8
CEMENT STABILIZATION	1.8
RIVER GRAVEL	1.5
CRUSHED STONE	1.5
SANDSTONE	1.2
NATURAL SUBGRADE	0.9

สมการที่ 1 ความสัมพันธ์เพื่อคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมในถนนคอนกรีต (กรมทางหลวง, 2558)18

$$A_s = \frac{f_a W \gamma_{conc} T}{2 f_s}$$

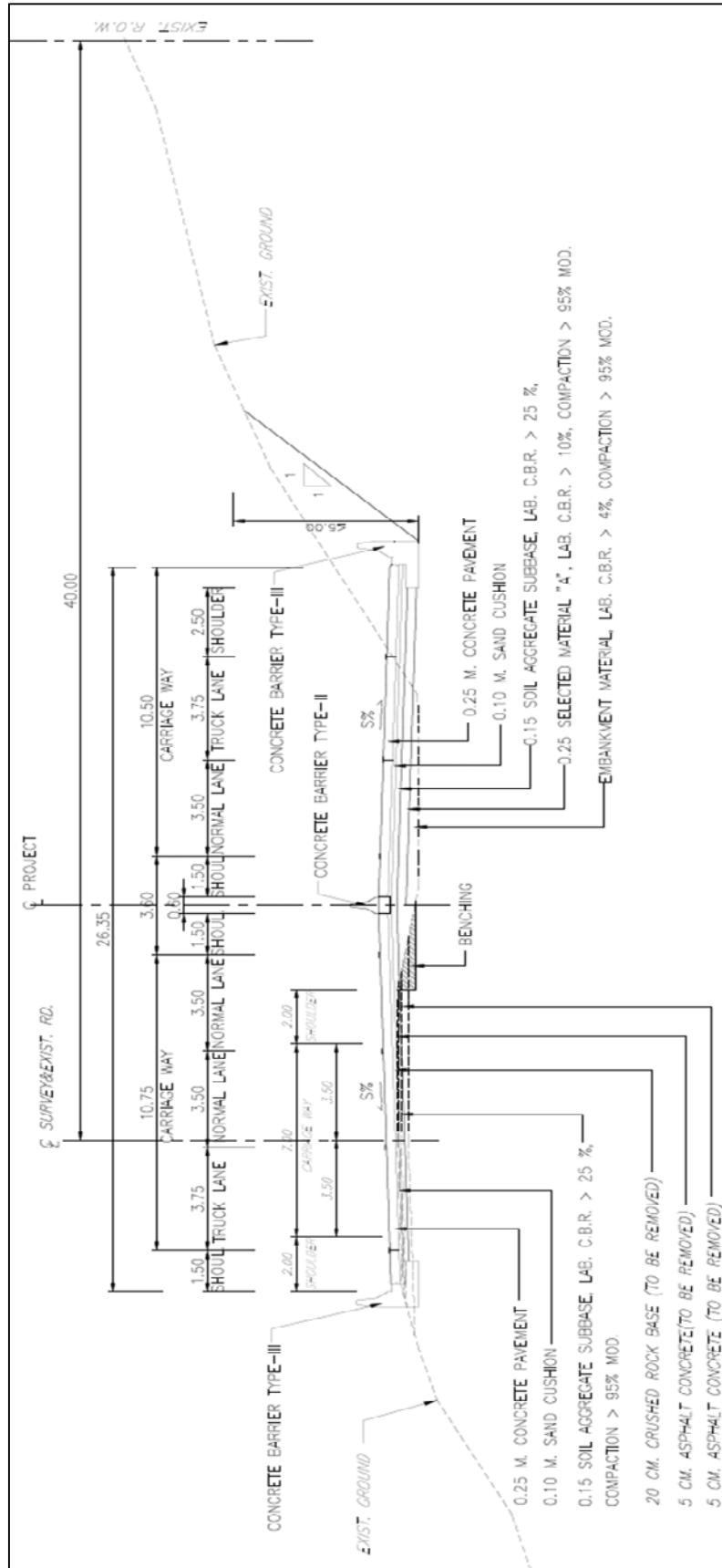
- A_s = CROSS SECTIONAL AREA OF REINFORCING
 f_a = FRICTION RESISTANCE BETWEEN THE BOTTOM OF THE SLAB AND THE TOP OF SUBBASE OR SUBGRADE LAYER = 2.2
 (ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง 2558)
 W = ROAD WAY WIDTH SHOULD BE CONSIDERED AS THE DISTANCE BETWEEN FREE LONGITUDINAL EDGES (NOT TIE BAR)
 γ_{conc} = UNIT WEIGHT OF CONCRETE
 T = SLAB THICKNESS
 f_s = $0.75 f_y$
 f_y = YIELD STRENGTH OF REINFORCING STEEL



รูปที่ 18 การวางเหล็กเสริมที่ระดับ T - 0.05 และการวางเหล็กเดือยและเหล็กยึดที่ระดับ T/2

(กรมทางหลวง, 2558)

ตัวอย่างการคำนวณเหล็กเสริมของถนนคอนกรีต JRPC



รูปที่ 19 ตัวอย่างโครงสร้างชั้นทางถนนคอนกรีต JRPC

Slab Thickness (T) = 0.25 m.

Road Way Width (W) = $1.50+3.75+3.50+3.50+1.50$ = 13.75 m.

1. ตารางที่ 1 เหล็กเสริมของถนน JRCF

โดยสามารถเลือกใช้ได้ตามชนิดของเหล็ก ดังนี้

- DB12	Spacing of Transverse Bars (X)	=	0.30 m.
	Spacing of Longitudinal Bars (Y)	=	0.30 m.
- CDR 9	Spacing of Transverse Bars (X)	=	0.15 m.
	Spacing of Longitudinal Bars (Y)	=	0.15 m.
- CDD 9	Spacing of Transverse Bars (X)	=	0.15 m.
	Spacing of Longitudinal Bars (Y)	=	0.15 m.

2. สมการที่ 1 เหล็กเสริมถนน JRCF

f_a = 2.2 (ตารางที่ 2)

Y_{conc} = 2,400 kg/m³

T = 0.25 m.

เหล็กเสริมตามยาว (Longitudinal Steel)

W = Slab Length = 10 M.

ตะแกรงเหล็กเส้น DB12 เกรด SD40 f_y = 4,000 kg/cm²

$A_{s,required} = (2.2 \times 10 \times 2,400 \times 0.25) / (2 \times 0.75 \times 4,000) = 2.2$ cm²/m

ดังนั้น ใช้เหล็ก DB12 @ 0.30 m. $A_{s,design} = 1.131 \times (1/0.3) = 3.77$ cm²/m > $A_{s,required}$

เหล็กเสริมตามขวาง (Transverse Steel)

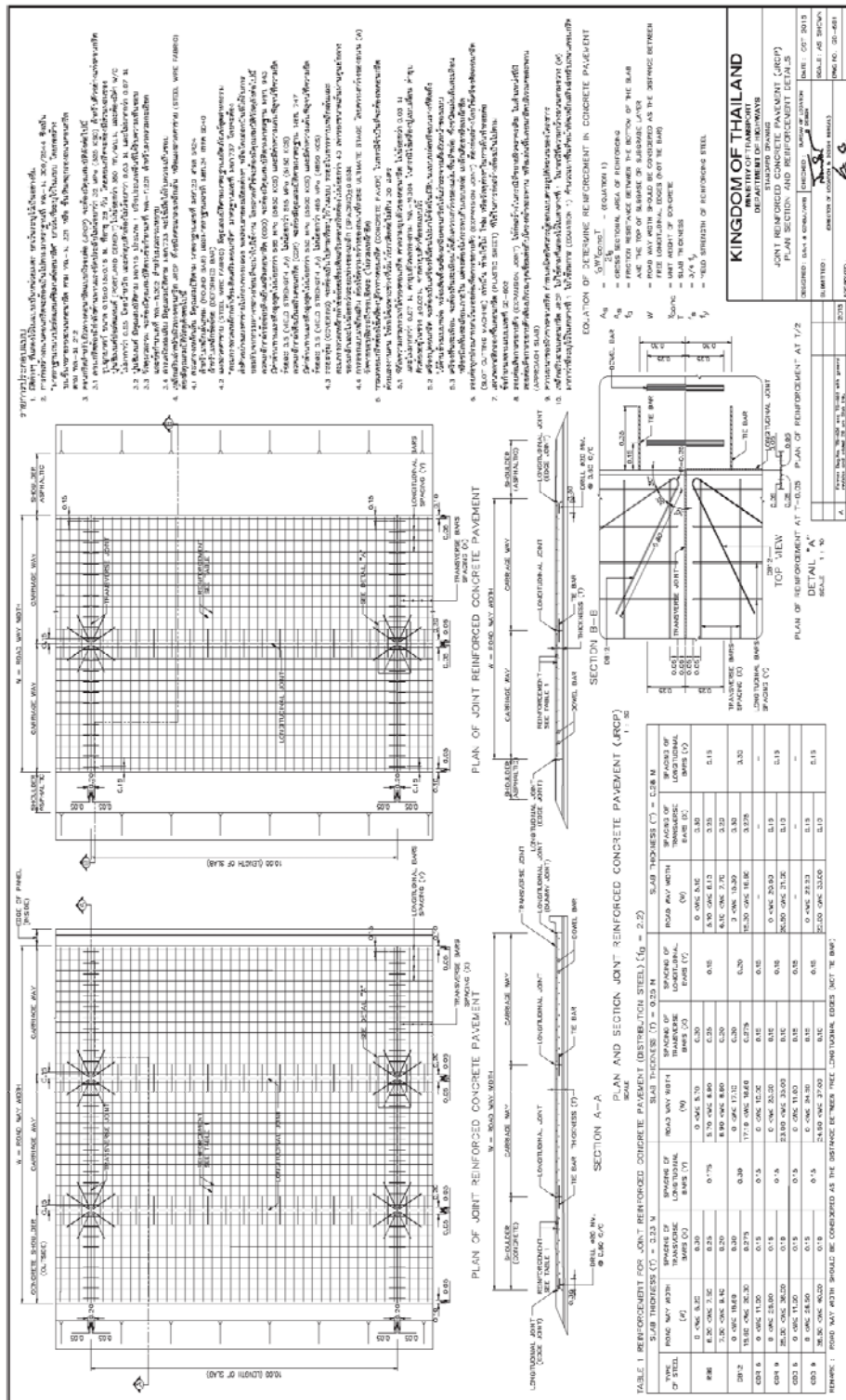
W = 13.75 m.

ตะแกรงเหล็กเส้น DB12 เกรด SD40 f_y = 4,000 kg/cm²

$A_{s,required} = (2.2 \times 13.75 \times 2,400 \times 0.25) / (2 \times 0.75 \times 4,000) = 3.025$ cm²/m

ดังนั้น ใช้เหล็ก DB12 @ 0.30 m. $A_{s,design} = 1.131 \times (1/0.3) = 3.77$ cm²/m > $A_{s,required}$

ดังนั้น ตะแกรงเหล็กเสริม DB12 @ 0.30x0.30 m.

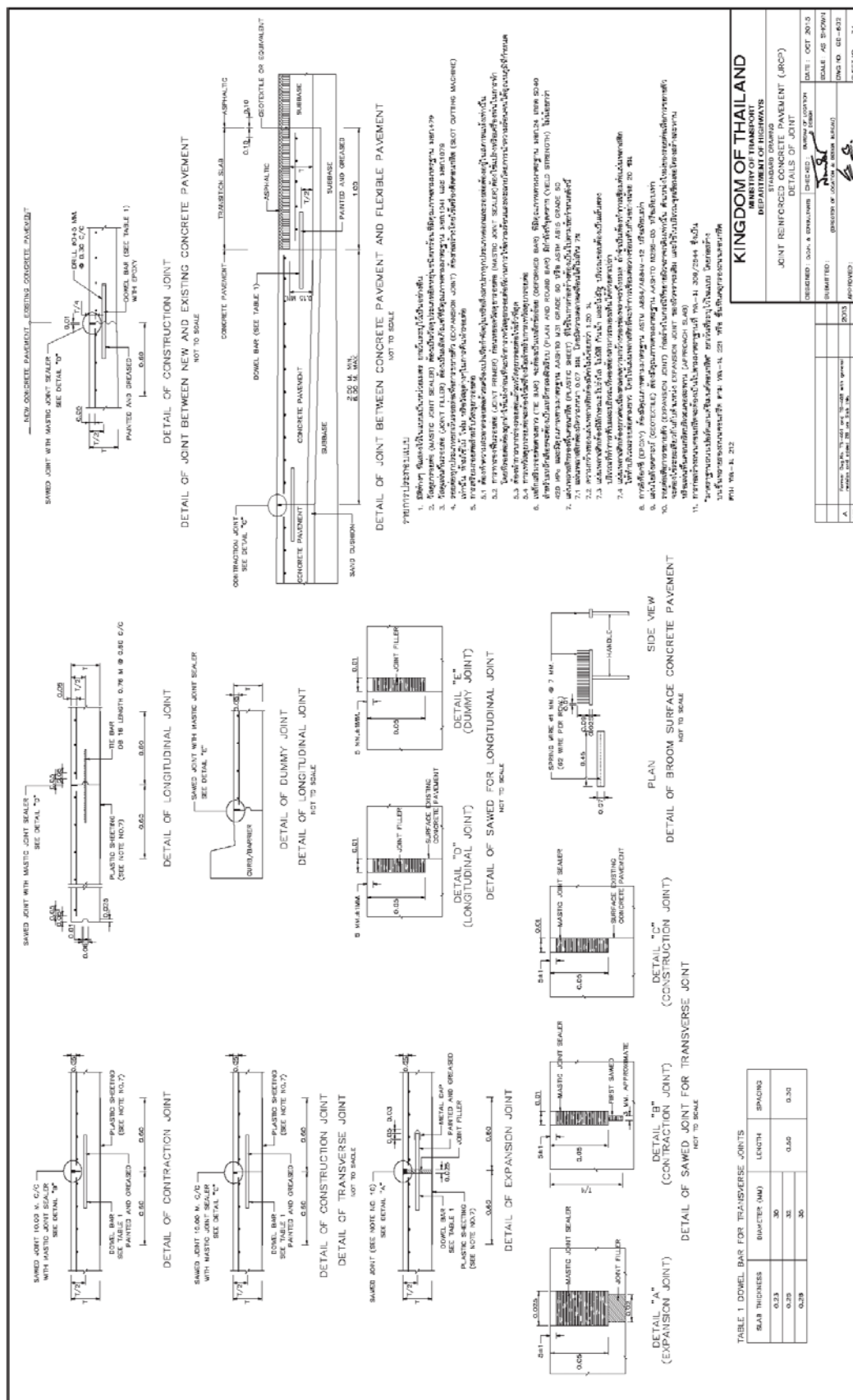


รูปที่ 20 รายละเอียดหน้าตัดถนนคอนกรีตชนิด JRCP (กรมทางหลวง, 2558)

รายการประกอบแบบสำหรับรอยต่อถนนชนิด JRCP

1. วัสดุยารอยต่อ (MASTIC JOINT SEALER) ต้องเป็นวัสดุประเภทยัดหยุ่นชนิดเทอร์อนที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก.479
2. วัสดุแผ่นกั้นรอยต่อ (JOINT FILLER) ต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก.1041 และ มอก.1079
3. รอยต่อทุกประเภทยกเว้นรอยต่อเพื่อการขยายตัว (EXPANSION JOINT) ต้องก่อสร้างโดยใช้เครื่องตัดคอนกรีต (SLOT CUTTING MACHINE) เท่านั้น ห้ามใช้ไม้ โฟม หรือวัสดุต่าง ๆ ในการคั่นทำรอยต่อ
4. การเตรียมรอยต่อสำหรับวัสดุยารอยต่อ
 - 4.1 ต้องทำความสะอาดรอยต่อด้วยเครื่องเป่าเพื่อกำจัดฝุ่นหรือสิ่งสกปรกทุกประเภทออกและรอยต่อต้องอยู่ในสภาพแห้งเท่านั้น
 - 4.2 การทารองพื้นรอยต่อ (JOINT PRIMER) ก่อนหยอดวัสดุยารอยต่อ (MASTIC JOINT SEALER) ต้องใช้แปรงหรือเครื่องพ่นในการทำ โดยที่รอยต่อต้องถูกทำให้แห้งก่อนที่จะทำการเทวัสดุยารอยต่อที่ผ่านการให้ความร้อนและละลายโดยการนำความร้อนจนได้อุณหภูมิที่กำหนด
 - 4.3 ต้องทำการบากร่องรอยต่อแล้วเทวัสดุยารอยต่อให้เร็วที่สุด
 - 4.4 การเทวัสดุยารอยต่อจะต้องใช้เครื่องมือสำหรับการเทวัสดุยารอยต่อ
5. เหล็กเสริมรอยต่อตามยาว (TIE BAR) จะต้องเป็นเหล็กข้ออ้อย (DEFORMED BAR) ที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก.24 เกรด SD40 สำหรับเหล็กเดี่ยวจะต้องเป็นเหล็กกลมผิวเรียบ (PLAIN AND ROUND BAR) มีกำลังที่จุดคราก (YIELD STRENGTH) ไม่น้อยกว่า 420 MPa และมีคุณภาพตามมาตรฐาน AASHTO M31 GRADE 60 หรือ ASTM A615 GRADE 60
6. แผ่นพลาสติกรองพื้นคอนกรีต (PLASTIC SHEET) ที่ใช้ในการก่อสร้างต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้
 - a. แผ่นพลาสติกต้องมีความหนา 0.07 มม. โดยมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 7%
 - b. ความกว้างของแผ่นพลาสติกต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1.20 ม.
 - c. แผ่นพลาสติกต้องมีลักษณะโปร่งใส ไม่มีสี กันน้ำ และไม่มีรู บริเวณขอบต้องเป็นเส้นตรง บริเวณที่ทำการพับและบริเวณที่พองต้องสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
 - d. แผ่นพลาสติกต้องยาวต่อเนื่องตลอดความกว้างของช่องจราจรทั้งหมด ถ้าจำเป็นต้องทำการเชื่อมต่อแผ่นพลาสติก ให้ทำบริเวณรอยต่อตามยาว โดยให้แผ่นพลาสติกที่จะทำการเชื่อมต่อวางซ้อนทับกันอย่างน้อย 20 ซม.
7. การอีพ็อกซี่ (EPOXY) ต้องมีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM A884/A884M-12 หรือเทียบเท่า
8. แผ่นใยสังเคราะห์ (GEOTEXTILE) ต้องมีคุณภาพตามมาตรฐาน AASHTO M288-05 หรือเทียบเท่า
9. รอยต่อเพื่อการขยายตัว (EXPANSION JOINT) ก่อสร้างในกรณีที่ย้ายผิวจราจรเดิมเท่านั้น ตำแหน่งใหม่ของรอยต่อเพื่อการขยายตัวจะต้องใช้ระยะเดียวกันกับตำแหน่ง EXPANSION JOINT ของผิวจราจรเดิม และใช้บริเวณจุดเชื่อมต่อโครงสร้างสะพานหรือแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณคอสะพาน (APPROACH SLAB)

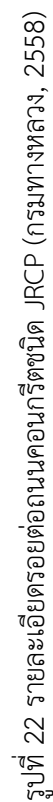
10. การก่อสร้างถนนคอนกรีตจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 309/2544 ซึ่งเป็น “มาตรฐานถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต” ยกเว้นที่ระบุไว้ในแบบ โดยก่อสร้างบนชั้นทรายรองถนนคอนกรีตตาม ทล.-ม. 211/2533 หรือชั้นหินคลุกรองถนนคอนกรีตตาม ทล.-ม. 212/2533



รูปที่ 21 รายละเอียดรายต่อณคนกรรณนท JRCP (กรมทางหลวง, 2558)

รายการประกอบแบบสำหรับรอยต่อถนนชนิด JRCP

1. คำย่อ : CJ : รอยต่อเพื่อการหดตัว (CONTRACTION JOINT)
LJ : รอยต่อตามยาว (LONGITUDINAL JOINT)
2. รอยต่อรอบแผ่นพื้นที่จะต้องขยายไปถึงแนวรอยต่อตามยาว กรณีที่แผ่นพื้นส่วนที่เหลือมีความกว้างน้อยกว่า 0.06 ม.
3. ระยะ X min กรณีที่ 1: เมื่อระดับของห้องบ่อพักอยู่ต่ำกว่าระดับโครงสร้างชั้นทาง
X min = 0.50 ม.
กรณีที่ 2: เมื่อระดับของห้องบ่อพักยื่นอยู่ในระดับโครงสร้างชั้นทาง
X min = 0.30 ม. นับเนื่องจากขอบของห้องบ่อพักได้ดิน
4. วัสดุยารอยต่อ (MASTIC JOINT SEALER) ต้องเป็นวัสดุประเภทยืดหยุ่นชนิดเทอร์อนที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก.479
5. วัสดุแผ่นกั้นรอยต่อ (JOINT FILLER) ต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก.1041 และ มอก.1079
6. การเตรียมรอยต่อสำหรับวัสดุยารอยต่อ
 - 6.1 ต้องทำความสะอาดรอยต่อด้วยเครื่องเป่าเพื่อกำจัดฝุ่นหรือสิ่งสกปรกทุกประเภทออกและรอยต่อต้องอยู่ในสภาพแห้งเท่านั้น
 - 6.2 การทารองพื้นรอยต่อ (JOINT PRIMER) ก่อนหยอดวัสดุยารอยต่อ (MASTIC JOINT SEALER) ต้องใช้แปรงหรือเครื่องพ่นในการทำความสะอาด โดยที่รอยต่อต้องถูกทำให้แห้งก่อนที่จะทำการเทวัสดุยารอยต่อที่ผ่านการให้ความร้อนและละลายโดยการนำความร้อนจนได้อุณหภูมิที่กำหนด
 - 6.3 ต้องทำการบากร่องรอยต่อแล้วเทวัสดุยารอยต่อให้เร็วที่สุด
 - 6.4 การเทวัสดุยารอยต่อจะต้องใช้เครื่องมือสำหรับการเทวัสดุยารอยต่อ
7. การก่อสร้างถนนคอนกรีตจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล.-ม.309/2544 ซึ่งเป็น “มาตรฐานถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต” ยกเว้นที่ระบุไว้ในแบบ โดยก่อสร้างบนชั้นทรายรองถนนคอนกรีต ตาม ทล.-ม.221 หรือ ขึ้นหินคลกรองถนนคอนกรีตตาม ทล.-ม.2 - 12



ส่วนที่ 2

การควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทางสำหรับการก่อสร้างถนนพอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

1. การควบคุมคุณภาพวัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีต

1.1. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ ที่ใช้ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์มาตรฐานเลขที่ มอก. 15 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องเป็นประเภทอย่างหนึ่งอย่างใด ดังต่อไปนี้

ประเภท 1 ปูนพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างทำคอนกรีต หรือทำผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ

ประเภท 2 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานคอนกรีตที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง

ประเภท 3 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High-Early Strength Portland Cement) ปูนซีเมนต์ที่ใช้ความต้านแรงสูงเร็วในระยะแรก มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้เร็วหรือรีบแบบเร็ว ซึ่งควรระวังในเรื่องการควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตไม่ให้สูงเกินขอบเขตด้วย มิฉะนั้นจะทำให้คอนกรีตเกิดรอยร้าวได้ง่าย

ประเภท 4 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้มากในงานก่อสร้างพวกคอนกรีตหยาบ (Mass Concrete) เนื่องจากเกิดความร้อนของคอนกรีตต่ำกว่าประเภทอื่นขณะแข็งตัว

ประเภท 5 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ที่ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ต้านทานซัลเฟตได้ดี เหมาะสำหรับใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำเค็ม น้ำหรือดินที่เป็นด่าง (Alkaline) สูง

กรมทางหลวงได้กำหนดให้ใช้ปูนพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 (Ordinary Portland Cement) ที่มีคุณภาพตาม มอก.15 เนื่องจากปูนซีเมนต์ในประเทศไทย โดยส่วนใหญ่แล้วจะผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ได้มาตรฐาน มีการใช้อย่างแพร่หลายและมีผลบันทึกการใช้งานที่ดี ปูนซีเมนต์ที่ได้รับ มอก.สามารถนำมาใช้ได้เลย โดยไม่ต้องทำการทดสอบอีก ซึ่งมีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด ดังตัวอย่างรูปที่ 23



รูปที่ 23 ตัวอย่างพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 (Ordinary Portland Cement)

ที่มา : ตัวปูน.com/2015/05/09/ปูนพอร์ตแลนด์ประเภท1/

ในกรณีที่ได้มีการเลือกใช้ปูนซีเมนต์ของผู้ผลิตรายใหม่ ซึ่งยังไม่เป็นที่รู้จัก หากมีความสงสัยเกี่ยวกับคุณภาพและต้องการตรวจสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์นั้น ให้นายช่างผู้ควบคุมงานนำปูนซีเมนต์ดังกล่าวส่งตรวจสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ เช่น กรณีปูนซีเมนต์ตราราชสีห์ เป็นต้น ทั้งนี้ ให้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทดลองตาม มอก.15 โดยปูนซีเมนต์จะต้องมีคุณลักษณะทางเคมีเป็นไปตามรูปที่ 24 แต่อาจจะมีคุณลักษณะทางเคมีเพิ่มเติมได้ รายการตามรูปที่ 25 หากใช้ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนผสมคอนกรีตน้อยจะทำให้คอนกรีตมีค่ากำลังอัดต่ำ ส่งผลให้ผิวหน้าไม่แข็งแรง และมีความสามารถรับการขัดสีได้น้อย เป็นสาเหตุในการหลุดร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีต ทำให้ผิวถนนไม่เรียบ และถ้าเกิดมากจะทำให้ถนนแตกได้ในเวลาเดียวกัน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมี
(ข้อ 4.1.1 และข้อ 5.1)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				
		ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
1	ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า		20.0			
2	อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ ไม่มากกว่า		6.0			
3	ไอรอน (III) ออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ ไม่มากกว่า		6.0		6.5	
4	แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ร้อยละ ไม่มากกว่า	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
5	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ¹⁾ (SO_2) ร้อยละ ไม่มากกว่า					
5.1	เมื่อมีไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ²⁾ ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) ร้อยละ 8 หรือ น้อยกว่า	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
5.2	เมื่อมีไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ²⁾ มากกว่าร้อยละ 8	3.5		4.5		
6	น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผา ร้อยละ ไม่มากกว่า	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
7	กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง ร้อยละ ไม่มากกว่า	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
8	ไตรแคลเซียมซิลิเกต ³⁾ ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ร้อยละ ไม่มากกว่า				35	
9	ไดแคลเซียมซิลิเกต ²⁾ ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ร้อยละ ไม่มากกว่า				40	
10	ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ²⁾ ร้อยละ ไม่มากกว่า		8	15	7	5 ³⁾
11	เทตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์บวกสองเท่าของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ²⁾ [$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$] หรือสารละลายของแข็งของเทตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์บวกไดแคลเซียมเฟอร์ไรต์ ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) แล้วแต่กรณี ร้อยละ ไม่มากกว่า					25 ³⁾

มอก. 15 เล่ม 1-2547

รูปที่ 24 คุณสมบัติทางเคมี (ข้อ 4.1.1 และข้อ 5.1) ตาม มอก. 15 เล่ม 1-2547

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางเคมีที่อาจเพิ่มเติมได้
(ข้อ 5.1)

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด					หมายเหตุ
		ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
1	ไลรเคลเซียมอะลูมิเนต ¹⁾ ร้อยละ ไม่มากกว่า			8			ปูนซีเมนต์ที่ทนซัลเฟตปานกลางได้
2	ไลรเคลเซียมอะลูมิเนต ¹⁾ ร้อยละ ไม่มากกว่า			5			ปูนซีเมนต์ที่ทนซัลเฟตสูงได้
3	ไลรเคลเซียมซิลิเกตบวกไลรเคลเซียมอะลูมิเนต ¹⁾ ร้อยละ ไม่มากกว่า		58 ²⁾				ปูนซีเมนต์ที่เกิดความร้อนปานกลาง จากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ
4	ค่า (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O) ร้อยละ ไม่มากกว่า	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	ปูนซีเมนต์มีค่าต่ำ

หมายเหตุ ¹⁾ เป็นสารประกอบสมมูลซึ่งได้จากคำนวณ ไม่จำเป็นต้องหมายความว่าออกไซด์ต่าง ๆ จะปรากฏอยู่จริง หรืออยู่ในลักษณะสารประกอบทั้งหมด
^{1.1)} ถ้าอัตราส่วนร้อยละของอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อไฮดรอกไซด์ (III) ออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 0.64 หรือมากกว่า ให้คำนวณหาร้อยละของไลรเคลเซียมซิลิเกต
ไลรเคลเซียมซิลิเกต = ไลรเคลเซียมอะลูมิเนต และเทรอะลอะลูมิเนตในเฟอร์ไรต์จากผลการวิเคราะห์ทางเคมี ดังต่อไปนี้
ไลรเคลเซียมซิลิเกต = $(4.071 \times \text{ร้อยละของ CaO}) - (7.600 \times \text{ร้อยละของ SiO}_2) - (6.718 \times \text{ร้อยละของ Al}_2\text{O}_3) - (1.430 \times \text{ร้อยละของ Fe}_2\text{O}_3) - (2.852 \times \text{ร้อยละของ SO}_3)$
ไลรเคลเซียมซิลิเกต = $(2.867 \times \text{ร้อยละของ SiO}_2) - (0.754 \times \text{ร้อยละของ 3CaO.SiO}_2)$
ไลรเคลเซียมอะลูมิเนต = $(2.650 \times \text{ร้อยละของ Al}_2\text{O}_3) - (1.692 \times \text{ร้อยละของ Fe}_2\text{O}_3)$
เทรอะลอะลูมิเนตในเฟอร์ไรต์ = $3.043 \times \text{ร้อยละของ Fe}_2\text{O}_3$

มอก. 15 เล่ม 1-2547

รูปที่ 25 คุณลักษณะทางเคมีที่อาจเพิ่มเติมได้ (ข้อ 5.1) ตาม มอก. 15 เล่ม 1-2547

หากทางโครงการก่อสร้างถนนพอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต ต้องการใช้ปูนซีเมนต์ประเภท 3 หรือประเภท 5 จะต้องได้รับคำแนะนำ หรือความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ตลอดงานตามสัญญาจ้าง จะต้องผลิตจากโรงงานเดียวกัน หรือเป็นตราและประเภทเดียวกัน เว้นแต่จะได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นอย่างอื่น และผู้รับจ้างจะต้องจัดทำสำหรับเก็บปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้อายุซีเมนต์ขึ้น ห้ามนำปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวบางส่วน หรือจับตัวแข็งเป็นก้อนป่นอยู่ หรือที่เสื่อมคุณภาพมาใช้ โดยจะต้องแยกปูนซีเมนต์ที่ไม่เหมาะสมดังกล่าวออก เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนในการใช้งาน

ในกรณีที่มีการใช้ปูนซีเมนต์ซึ่งได้รับการตรวจสอบคุณภาพตาม มอก.15 แล้ว และปูนซีเมนต์นั้นผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ได้มาตรฐาน มีการใช้อย่างแพร่หลาย และมีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด แต่เมื่อนำมาใช้งานในบางพื้นที่ ทำให้เกิดปัญหา Hairline Crack คือ รอยแตกร้าวที่เกิดบนพื้นผิวคอนกรีตมีความกว้างน้อยมากจนแทบจะสังเกตไม่เห็น ดังตัวอย่างรูปที่ 26

ตัวอย่างปัญหาที่เกิดขึ้น ได้แก่ การใช้ปูนซีเมนต์ในบางยี่ห้อพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ที่เกิดปัญหา Hairline Crack คาดว่าเกิดจากการนำข้อมูลรายการคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจากส่วนกลาง ซึ่งออกแบบตามระยะทางที่ใช้ในการขนส่ง อาจไม่เหมาะสมกับบางพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลโรงผสมคอนกรีต ดังนั้น นายช่างผู้ควบคุมงานต้องทำการพิจารณาตรวจสอบการออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมกับพื้นที่นั้น ๆ ด้วย

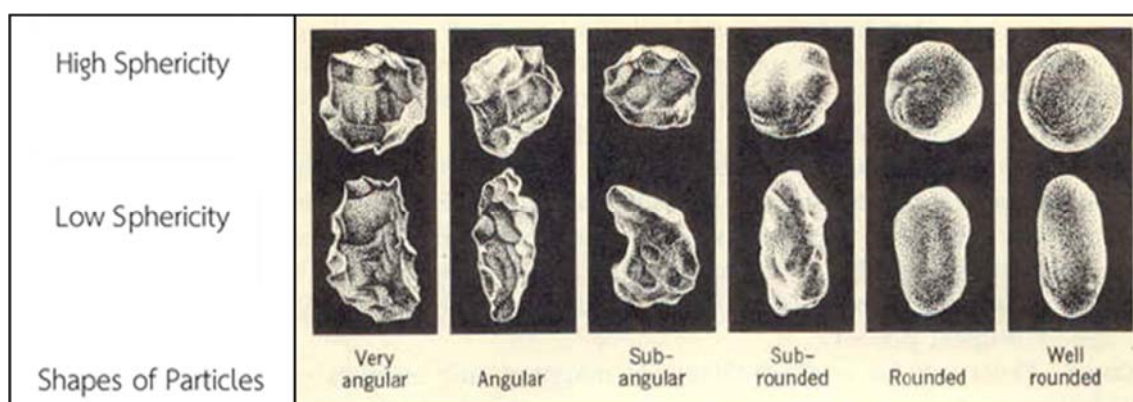


รูปที่ 26 Hairline Crack

ที่มา : <http://www.thaiengineering.com/2015/images/content/VisualInspection/6.jpg>

1.2. มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)

มวลรวมละเอียด หรือทรายผสมคอนกรีต มวลรวมละเอียดต้องประกอบด้วย เม็ดทรายธรรมชาติ หรืออนุภาคของหินที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมหรือเหลี่ยม ไม่แบนเป็นเกล็ด มีผิวหยาบและเม็ดแข็ง ทนทาน สะอาด ปราศจากฝุ่นผงเคลือบ



รูปที่ 27 ตัวอย่างลักษณะรูปร่างของมวลรวมละเอียด

ที่มา : <http://www.sand-atlas.com/en/shape-of-sand-grains/>

มวลรวมละเอียดจากแหล่งวัสดุต่างแหล่งกัน ห้ามนำมาผสมกัน หรือกองรวมเป็นกองเดียวกัน หรือใช้ร่วมกัน ในการก่อสร้างงานคอนกรีตชั้นคุณภาพเดียวกันที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยไม่ได้รับอนุญาตจาก นายช่างผู้ควบคุมงานก่อน และหากการเลือกใช้มวลรวมละเอียดที่ไม่มีคุณภาพ โดยที่ทรายผสมคอนกรีตอาจมีความละเอียดมากเกินไป สกปรกและมีดินปน ซึ่งทรายที่มีดินเหนียวปนอยู่ด้วย ดินเหนียวจะหดตัวมากกว่าปูนซีเมนต์ อันเป็นสาเหตุของการแตกร้าวแบบ Structural Crack และทำให้ผิวทางเกิดการหลุดร่อนได้ภายหลังการเปิดจราจร ดังนั้น หากมิได้ระบุคุณสมบัติของมวลรวมละเอียดไว้ในแบบเป็นอย่างอื่น มวลรวม

ละเอียด ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานข้อกำหนดที่ ทล.- ก. 201/2544 “ข้อกำหนดมวลรวมละเอียดสำหรับผสมคอนกรีต” โดยวัสดุที่ใช้ทำมวลรวมละเอียดสำหรับผสมคอนกรีต จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) ต้องไม่มีดิน ถ้าผ่าน สารอินทรีย์ต่าง ๆ ต่าง สารอินทรีย์จำพวกอนุคลลอไรด์ หรือสิ่งปลอมปนอื่นใด ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลอันไม่พึงประสงค์กับคอนกรีตหรือเหล็กเสริม ได้เกินกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3

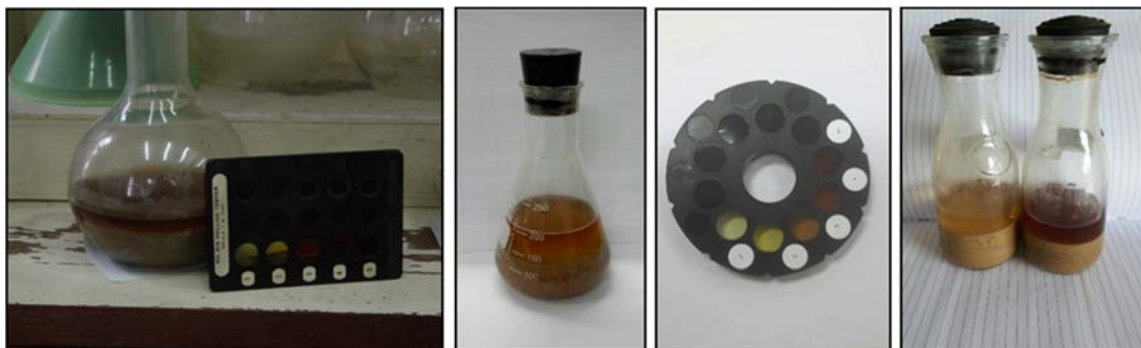
ตารางที่ 3 ปริมาณสูงสุดของวัสดุไม่พึงประสงค์ในมวลรวมละเอียด

วัสดุไม่พึงประสงค์	ร้อยละโดยรวม	วิธีการทดลอง
มวลรวมที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มม. (เบอร์ 200)	4.0	AASHTO T 11
ก้อนดินเหนียว และวัสดุที่แตกร่วนง่าย	3.0	AASHTO T 112
ถ่านหิน และลิกไนท์	1.0	AASHTO T 113 หรือเทียบเท่าตามที่กรมทางหลวงกำหนดขึ้น

(2) สิ่งปลอมปนอื่นๆ เช่น Shale, Alkali, Mica, Coated Grains, Soft and Flaky Particles ที่ทำให้ความแข็งแรงของคอนกรีตลดลงเกินกว่าร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับความแข็งแรงของคอนกรีตที่ปราศจากสิ่งปลอมปนนั้นๆ

(3) ค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.213 “วิธีการทดลองหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม” โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ ต้องไม่เกินร้อยละ 10 หรือใช้แมกนีเซียมซัลเฟตต้องไม่เกินร้อยละ 15

(4) สะอาด ปราศจากอินทรีย์วัตถุเจือปนในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อคอนกรีต โดยเมื่อทดลองหา Organic Impurities ในมวลรวมละเอียด ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.201 “วิธีการทดลองหาค่า Organic Impurities ในทรายสำหรับคอนกรีต” แล้วมวลรวมละเอียดดังกล่าว “ต้องมีสีไม่แก่กว่าสีมาตรฐาน”



รูปที่ 28 การทดลองหาค่า Organic Impurities ในทรายสำหรับคอนกรีต

มวลรวมละเอียดที่ให้สีแก่กว่าสีมาตรฐาน ห้ามนำมาใช้ ยกเว้นเหตุจำเป็น อาจให้นำมาใช้ได้ โดยต้องทำการทดสอบตามวิธีการ AASHTO T71: “Effect of Organic Impurities in Fine Aggregate on Strength

of Mortar” แล้วความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ ขนาด 50 มิลลิเมตรของส่วนผสมมอร์ตาร์ที่อายุครบ 7 วัน และ 28 วัน มีค่าไม่น้อยกว่า ร้อยละ 95 ของความต้านแรงอัดของส่วนผสมมอร์ตาร์ที่หล่อโดยใช้มวลรวมละเอียดชนิดเดียวกัน แต่ผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดเสียก่อน ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน

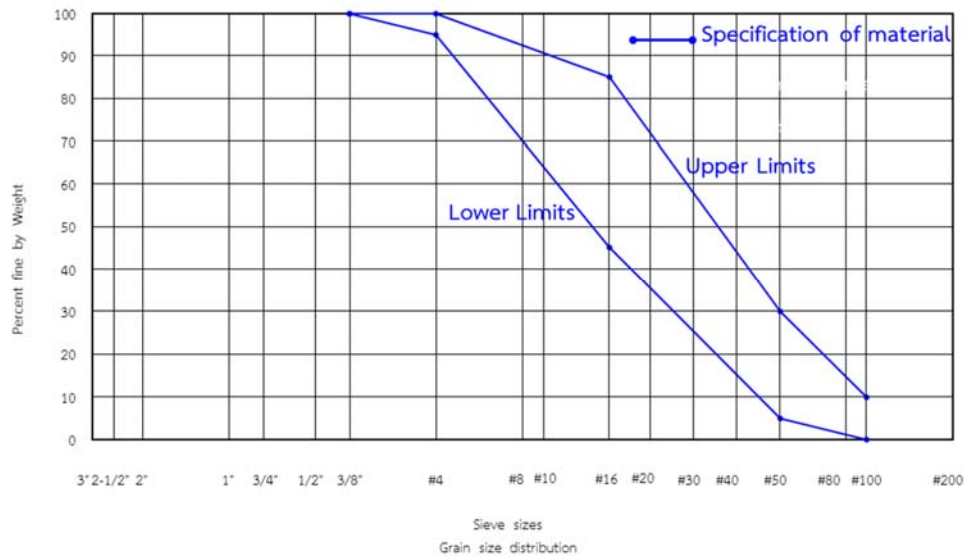
(5) มีขนาดคละ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.204 “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง” ตามตารางที่ 4



รูปที่ 29 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง

ตารางที่ 4 ขนาดคละของมวลรวมละเอียดสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีต

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร (นิ้ว)	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยรวม
9.5 ($\frac{3}{8}$ นิ้ว)	100
4.75 (เบอร์ 4)	95-100
2.36 (เบอร์ 8)	-
1.18 (เบอร์ 16)	45-85
0.600 (เบอร์ 30)	-
0.300 (เบอร์ 50)	5-30
0.150 (เบอร์ 100)	0-10



รูปที่ 30 ขนาดคละของมวลรวมละเอียดสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีต

(6) วัสดุมวลรวมละเอียด ต้องมีค่า Fineness Modulus (F.M.) ไม่น้อยกว่า 2.3 และไม่มากกว่า 3.1 การหาค่า Fineness Modulus (F.M.) เป็นไปตามที่ระบุไว้ใน AASHTO T27: “Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate”

หมายเหตุ หากวัสดุมวลรวมละเอียดมีค่า Fineness Modulus แตกต่างจากค่า Fineness Modulus ที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตเกินกว่า 0.20 ต้องมีการปรับส่วนผสมคอนกรีตใหม่ให้เหมาะสม

(7) การกองวัสดุมวลรวมละเอียด จะต้องป้องกันมิให้วัสดุอื่นมาปะปน ห้ามกองไว้บนหลังทาง ห้ามนำมวลรวมละเอียดจากแหล่งวัสดุต่างแหล่งกันมาผสมกัน หรือกองรวมเป็นกองเดียวกัน หรือใช้ร่วมกันในการก่อสร้างที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยไม่ได้รับอนุญาตจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน การกองมวลรวมละเอียดดังตัวอย่าง รูปที่ 31



รูปที่ 31 ตัวอย่างการกองมวลรวมละเอียด

2.2-12

Project : ทางหลวงหมายเลข 304 สายทาง อ.กบินทร์บุรี - อ.บึงรวงษ์ อ.ปราจีนบุรี (ทางเชื่อมคันไถ)

☒ General Test ☐ Control Test

Pavement Layer ทารวมทุกชั้นกรวด

	(นายณรงค์ชัย เกษมใจ)
หน.ทว	สร้างทางประจำโครงกา

การควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทางการก่อสร้างถนนपोर्टแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่	AG-48/2559	หนังสือที่	สส.17/2558/123 ลว. 22 ธันวาคม 2558
หน่วยงาน	โครงการฯ สาย อ.กบินทร์บุรี - อ.ปักธงชัย (ทางเชื่อมฝายป่า) จ.ปราจีนบุรี		
คู่สัญญา	บมจ. อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเม้นต์	สัญญาที่	สส.17/2558 ลว. 16 กรกฎาคม 2558
วันที่รับหนังสือ	25 ธันวาคม 2558	วันที่รับตัวอย่าง	24 ธันวาคม 2558
เจ้าหน้าที่ทดลอง	นายประภิต สิทธิคุณารักษ์	วันที่สรุป	8 มกราคม 2559

แผ่นที่ 3.... ของ 3.... แผ่น

สรุปผลการทดลอง

Material	(1) ทรายผสมคอนกรีต	Nominal Size	-
Source	บ่อทรายคุณสมบัติ อ.นาดี จ.ปราจีนบุรี		
	- Organic Impurities	=	น้อยกว่ามาตรฐาน
	- Soundness	=	5.9 %
ผู้ตรวจสอบ	ผู้รับรอง		
	(นายกิตติพันธุ์ ยิ้มประเสริฐ)	(นายกิตติพันธุ์ ยิ้มประเสริฐ)	
ตำแหน่ง	แทน หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์และปรับปรุง	ตำแหน่ง	ผู้อำนวยการส่วนวิเคราะห์วัสดุทางวิศวกรรม
	คุณภาพ หิน กรวด ทราย		



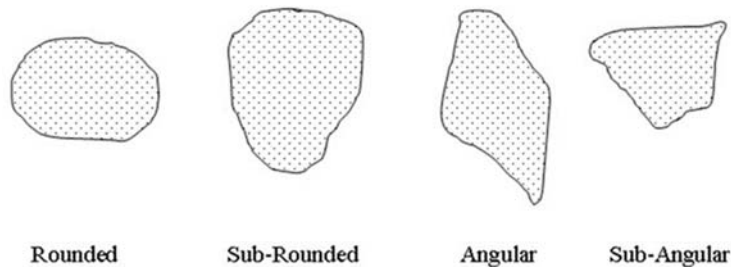
ค่าธรรมเนียมการทดลองเป็นเงิน.....900.....บาท

ผลการทดลองนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบได้รับเท่านั้น

รูปที่ 33 ตัวอย่างผลการทดสอบวัสดุทรายผสมคอนกรีต

1.3. มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)

มวลรวมหยาบ หรือหินผสมคอนกรีต มวลรวมหยาบต้องประกอบด้วย หินย่อย กรวด หรือกรวดย่อย ที่มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยม หรือกลม มีเนื้อแข็ง เหนียว ไม่ผุ ไม่มีลักษณะแบนหรือยาวมากเกินไป สะอาด ไม่มีฝุ่นผง หรือสิ่งอื่นใดเคลือบผิว หากหินที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตสกปรกและมีดินปน จะทำให้เกิดการหลุดร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีต ทำให้ผิวถนนไม่เรียบ ความเสียหายอาจเกิดมากจนทำให้พื้นผิวถนนแตกในที่สุด



รูปที่ 34 ตัวอย่างลักษณะรูปร่างของมวลรวมหยาบ (Shapes of Bulky Particles)

ที่มา : <http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=125126>

มวลรวมหยาบต่างชนิดกันห้ามนำมาผสมกัน หรือกองรวมเป็นกองเดียวกัน หรือใช้ร่วมกันในงานก่อสร้างที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยไม่ได้รับอนุญาตจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน หากมิได้ระบุคุณสมบัติไว้เป็นอย่างอื่น มวลรวมหยาบ ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานข้อกำหนดที่ ทล. – ก. 202/2544 “ข้อกำหนดมวลรวมหยาบสำหรับผสมคอนกรีต” วัสดุที่ใช้ทำมวลรวมหยาบสำหรับผสมคอนกรีต จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) เมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.202 “วิธีการทดสอบหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion” ค่าความสึกหรอ ต้องไม่เกินร้อยละ 40



รูปที่ 35 เครื่อง Los Angeles Abrasion

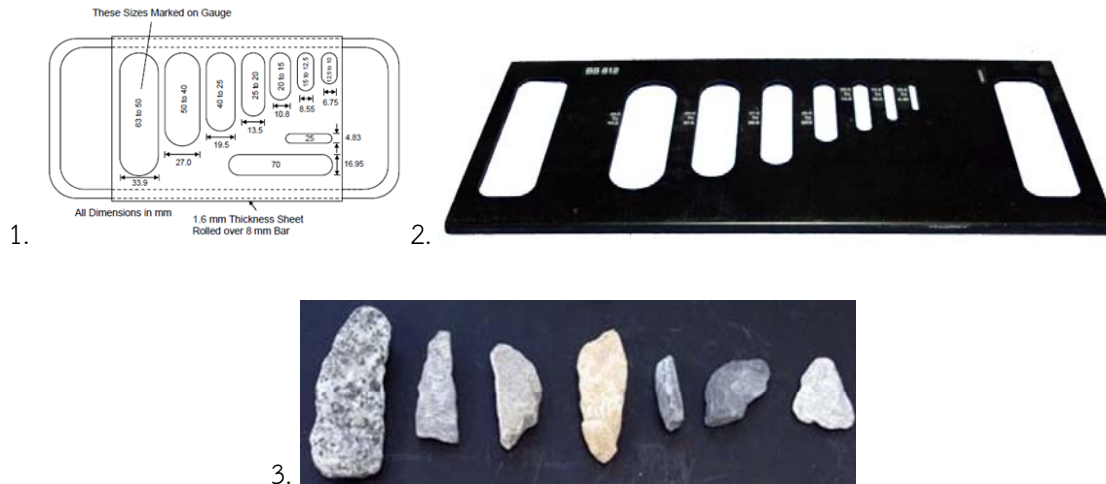
(2) ไม่เป็นหิน หรือกรวด ชนิดเนื้อหยาบพรุน เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.207 “วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะวัสดุเม็ดหยาบ” ค่าการดูดซึมต้องไม่เกินกว่าร้อยละ 5 โดยผ่านการทดลองแช่น้ำไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว น้ำหนักของมวลรวม จะต้องไม่เพิ่มขึ้นจากเดิมเกินกว่าร้อยละ 10

(3) มีค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.213 “วิธีการทดลองหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม” โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ ต้องไม่เกินร้อยละ 12 หรือเมื่อใช้แมกนีเซียมซัลเฟตต้องไม่เกินร้อยละ 18



รูปที่ 36 วิธีการทดลองหาค่าความคงทน (Soundness)

(4) มีค่าดัชนีความแบน เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.210 “วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index)” ต้องไม่เกินร้อยละ 35

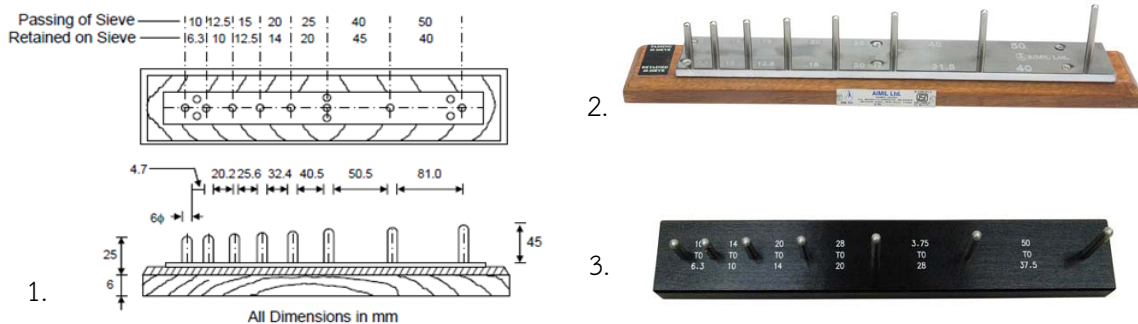


รูปที่ 37 วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index)

ที่มา :

1. <http://www.expertsmind.com/topic/properties-and-testing-of-aggregates/flakiness-and-elongation-index-914717.aspx>
2. <http://civillabbd.blogspot.com/2014/11/flakiness-elongation-index.html>
3. <https://theconstructor.org/building/classification-of-aggregates-size-shape/12339/>

(5) มีค่าดัชนีความยาว เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.211 “วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index)” ต้องไม่เกินร้อยละ 35



รูปที่ 38 วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index)

ที่มา :

1. <http://www.expertsmind.com/topic/flakiness-and-elongation-index/elongation-index-914718.aspx>
2. <http://civilblog.org/2013/05/08/aggregate-elongation-index-value-is2386-part-1-1963/>
3. <https://www.globalgilson.com/length-gauge-elongation-index>

(6) ต้องไม่มีวัสดุอื่นไม่พึงประสงค์อื่นใด เจือปนอยู่ในมวลรวมหยาบเกินกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณสูงสุดของวัสดุไม่พึงประสงค์ในมวลรวมหยาบ

วัสดุไม่พึงประสงค์	ร้อยละ โดยรวม	วิธีการทดลอง
มวลรวมที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มม. (เบอร์ 200) ก้อนดินเหนียว และวัสดุที่แตกร่วนง่าย ถ่านหิน และลิกไนต์	1.0 3.0 0.5	AASHTO T 11 AASHTO T 112 AASHTO T 113 หรือเทียบเท่าตามที่กรมทางหลวง กำหนดขึ้น

การทดสอบหาปริมาณสูงสุดของวัสดุไม่พึงประสงค์ในมวลรวมหยาบ ให้ดำเนินการอย่างน้อยทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงแหล่งวัสดุ หรือตามความจำเป็น

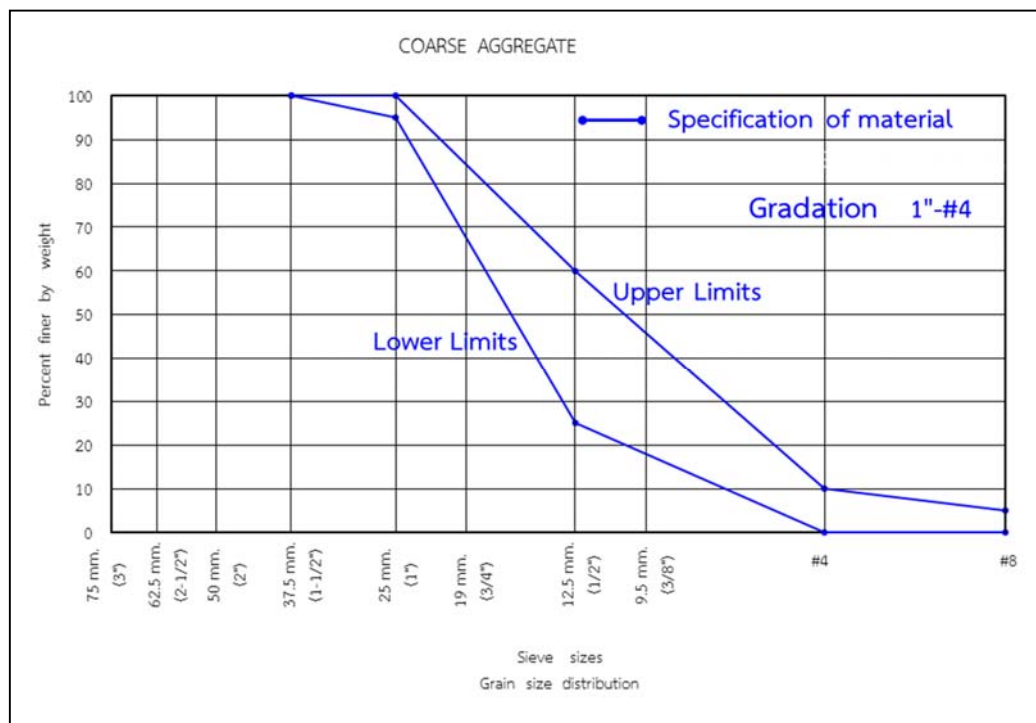
(7) มีขนาดคละ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.204 “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง” ตามตารางที่ 6 ส่วนขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้ ถ้าไม่ได้ระบุไว้ในแบบ ควรมีขนาดไม่เกิน 1 ใน 5 ของส่วนที่บางที่สุดของโครงสร้าง และต้องไม่เกิน 3 ใน 4 ของช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม ทั้งนี้ โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน



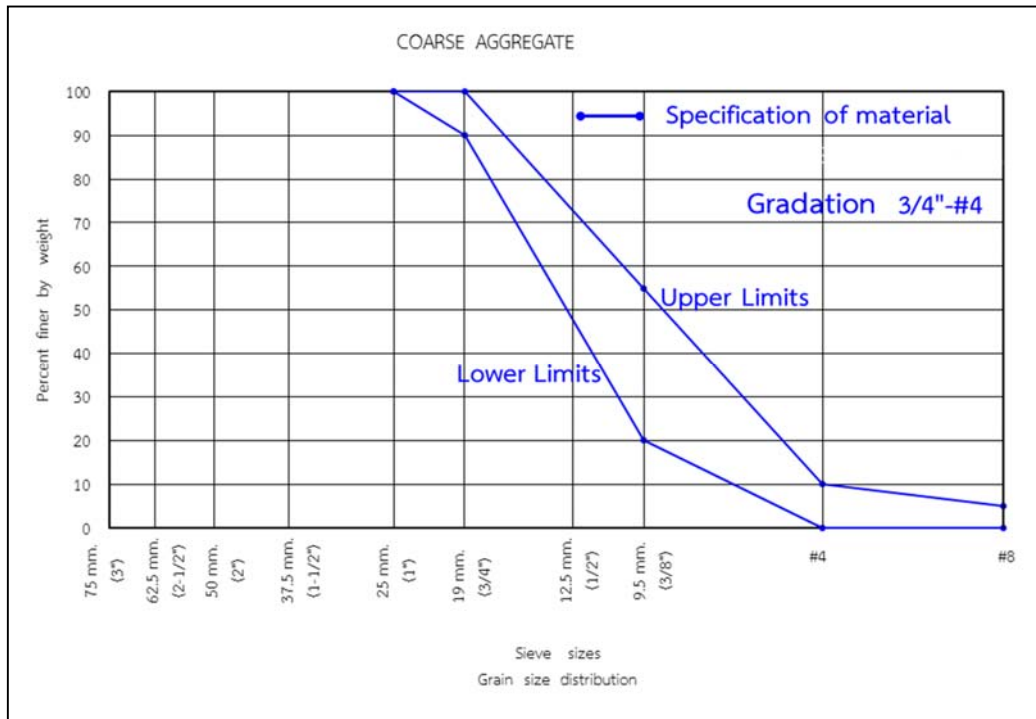
รูปที่ 39 การทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง

ตารางที่ 6 ขนาดละเอียดของมวลรวมหยาบสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีต

ขนาดระบุ มม. (นิ้ว)	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยรวม									
	63.0 (2 ½)	50.0 (2)	37.5 (1 ½)	25.0 (1)	19.0 (¾)	12.5 (½)	9.5 (⅜)	4.75 (เบอร์ 4)	2.36 (เบอร์ 8)	1.18 (เบอร์ 16)
50.0-4.75 (2 - #4)	100	95- 100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
37.5-4.75 (1 ½ - #4)		100	95- 100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
25.0-4.75 (1 - #4)			100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
19.0-4.75 (¾ - #4)				100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
12.5-4.75 (½ - #4)					100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
9.5-2.36 (⅜ - #8)						100	85- 100	10-30	0-10	0-5



รูปที่ 40 มวลรวมหยาบสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตขนาดระบุ 25.0-4.75 มม. (1 - #4)



รูปที่ 41 มวลรวมหยาบสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตขนาดระบุ 19.0-4.75 มม. (3/4 - #4)

(8) ในกรณีที่หินหรือกรวดที่หาได้ตามท้องถิ่น มีขนาดละเอียดเกินไป อาจจะทำให้การหาอัตราส่วนผสมระหว่างหินหรือกรวดตั้งแต่ 2 ขนาดขึ้นไป เพื่อให้ขนาดละเอียดเป็นไปตามตารางที่ 6

(9) การกองวัสดุมวลรวมหยาบ จะต้องป้องกันมิให้วัสดุอื่นมาปะปน หากมี ต้องล้างให้สะอาดก่อนนำมาใช้งาน มวลรวมหยาบต่างชนิดและขนาด ให้แยกคนละกอง ถ้าเกิดการแยกตัว ก็ให้คลุกเคล้าให้เข้ากันใหม่ ห้ามกองไว้บนหลังทาง ห้ามกองมวลรวมหยาบกีดขวางการจราจร ห้ามนำมวลรวมหยาบจากแหล่งวัสดุต่างแหล่งกันมาผสมกัน หรือกองรวมเป็นกองเดียวกัน หรือใช้ร่วมกันในการก่อสร้างที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยไม่ได้รับอนุญาตจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน การกองมวลรวมหยาบดังตัวอย่าง รูปที่ 42



รูปที่ 42 ตัวอย่างการกองมวลรวมหยาบ

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

2.2-12

สรุปคุณภาพวัสดุ

Project : ทางหลวงหมายเลข 304 สายทาง อ.ภินทรบุรี - อ.ปรางค์อ.ปรางค์บุรี (ทางเชื่อมเนินปอ)

☒ General Test ☐ Control Test

Pavement Layer : ชั้นบนคอนกรีต

No.	Source	Description of Sample	Sieve Analysis % Passing								Plasticity		Comp. DH - T 107/2517		Lab C.B.R.		Remarks
			37.5	25.0	19	12.5	9.5	4	8	16	LL	PI	O.M.C. %	S.d. gm./ml.	C.B.R. %	Swell %	
GC-2	โรงไม้ประจักษ์เมืองหิน เลขที่ 123 ต.วังท่าช้าง อ.ภินทรบุรี	คอนกรีต	-	100.0	98.8	49.6	21.5	2.6	1.4	1.0	-	-	-	-	-	-	Grade 1 ใช้ได้
	อ.ปรางค์บุรี	3/4"-#4	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-							14 ร.ก. 58
GC-3	โรงไม้ประจักษ์เมืองหิน เลขที่ 123 ต.วังท่าช้าง อ.ภินทรบุรี	คอนกรีต	100.0	96.9	71.4	27.0	5.5	4.5	4.5	4.5	-	-	-	-	-	-	Grade 1 ใช้ได้
	อ.ปรางค์บุรี	1"-#4	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-							14 ร.ก. 58
GC-4	โรงไม้ ส.ศิลาทอง เลขที่ 138 หมู่ที่ 3 ต.หน้าพระลาน	คอนกรีต	-	100.0	93.4	50.2	28.2	5.9	2.7	2.1	-	-	-	-	-	-	Grade 1 ใช้ได้
	อ.เฉลิมพระเกียรติ อ.สระบุรี	3/4"-#4	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-							14 ร.ก. 58
GC-5	โรงไม้ ส.ศิลาทอง เลขที่ 138 หมู่ที่ 3 ต.หน้าพระลาน	คอนกรีต	100.0	96.6	69.4	25.0	3.5	1.4	1.2	1.2	-	-	-	-	-	-	Grade 1 ใช้ได้
	อ.เฉลิมพระเกียรติ อ.สระบุรี	1"-#4	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-							14 ร.ก. 58
																	(นายณรงค์ชัย เกตุมาใจ)
																	พ.น.คว.สร้างทางประจำโครงการฯ

รูปที่ 43 ตัวอย่างสรุปคุณภาพวัสดุ ว.2-12 ผลการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุหินผสมคอนกรีต

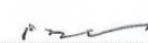
สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่	AG-46/2559	หนังสือที่	สส.17/2558/125 ลว. 22 ธันวาคม 2558
หน่วยงาน	โครงการฯ สาย อ.กบินทร์บุรี - อ.ปักธงชัย (ทางเชื่อมดินป่า) จ.ปราจีนบุรี		
คู่สัญญา	บมจ. อิตาเลียนไทย ดีเวลอปเม้นท์	สัญญาที่	สส.17/2558 ลว. 16 กรกฎาคม 2558
วันที่รับหนังสือ	24 ธันวาคม 2558	วันที่รับตัวอย่าง	24 ธันวาคม 2558
เจ้าหน้าที่ทดลอง	นายประภิต สิทธิคุณารักษ์	วันที่สรุป	8 มกราคม 2559

แผ่นที่ 9.... ของ 10.... แผ่น

สรุปผลการทดลอง

Material (1)	หินผสมคอนกรีต	Nominal Size	1" - # 4
Source	โรงโม่ บริษัทปราจีนบุรีเหมืองหิน ต.วังท่าช้าง อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี		
- Percentage of wear	=	26.7	%
- Specific Gravity (SSD)	=	2.711	
Water Absorption	=	0.40	%
- Soundness	=	2.1	%
- Flakiness Index	=	14	%
- Elongation Index	=	14	%
ผู้ตรวจสอบ	 (นายกิตติพันธ์ อัมประเสริฐ)	ผู้รับรอง	 (นายกิตติพันธ์ อัมประเสริฐ)
ตำแหน่ง	แทน หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์และปรับปรุง คุณภาพ หิน กรวด หวาย 5 ธ.ค. 2558	ตำแหน่ง	ผู้อำนวยการส่วนวิเคราะห์วัสดุทางวิศวกรรม

ค่าธรรมเนียมการทดลองเป็นเงิน.....บาท

ผลการทดลองนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบได้รับเท่านั้น

รูปที่ 44 ตัวอย่างผลการทดสอบวัสดุหินผสมคอนกรีตขนาดระบุ 25.0-4.75 มม. (1 - #4)

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่	AG-46/2559	หนังสือที่	สส.17/2558/125	ลว. 22	ธันวาคม 2558
หน่วยงาน	โครงการฯ สาย อ.กบินทร์บุรี - อ.ปักธงชัย (ทางเชื่อมฝืนป่า) จ.ปราจีนบุรี				
คู่สัญญา	บมจ. อิตาเลียนไทย ดีเวลอปเม้นท์	สัญญาที่	สส.17/2558	ลว. 16	กรกฎาคม 2558
วันที่รับหนังสือ	24 ธันวาคม 2558	วันที่รับตัวอย่าง	24	ธันวาคม 2558	
เจ้าหน้าที่ทดลอง	นายประภิต สิทธิธรรมรักษ์	วันที่สรุป	8	มกราคม 2559	

แผ่นที่ 10.... ของ 10... แผ่น

สรุปผลการทดลอง

Material (2)	หินผสมคอนกรีต	Nominal Size	3/4" - # 4
Source	โรงโม่ บริษัทปราจีนบุรีเหมืองหิน ต.วังท่าช้าง อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี		
- Percentage of wear	=	27.4	%
- Specific Gravity (SSD)	=	2.713	
Water Absorption	=	0.38	%
- Soundness	=	2.5	%
- Flakiness Index	=	16	%
- Elongation Index	=	17	%

ผู้ตรวจสอบ

(นายกิตติพันธุ์ ยิ้มประเสริฐ)

ผู้รับรอง

(นายกิตติพันธุ์ ยิ้มประเสริฐ)

ตำแหน่ง

แทน หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์และปรับปรุง

ตำแหน่ง

ผู้อำนวยการส่วนวิเคราะห์วัสดุทางวิศวกรรม

คุณภาพ หิน กรวด หวาย

- 5 ส.ค. 2559

ค่าธรรมเนียมการทดลองเป็นเงิน.....3,000.....บาท

ผลการทดลองนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบได้รับเท่านั้น

รูปที่ 45 ตัวอย่างผลการทดสอบวัสดุหินผสมคอนกรีตขนาดระบุ 19.0-4.75 มม. (3/4 - #4)

ข้อเสนอแนะทางธรณีวิทยาในการป้องกันการใช้วัสดุหินที่ไม่เหมาะสม

วัสดุหิน (Source Rock) และวัสดุมวลหินโม (Crushed Rock Aggregates) ที่จะนำมาใช้ต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติและลักษณะทางธรณีวิทยาตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. วัสดุหิน (Source Rock) ต้องมาจากแหล่งโรงโม่ย่อยหินที่มีการเปิดใช้ ชื่อขายในเชิงพาณิชย์ และเป็นที่ยอมรับในด้านคุณภาพวัสดุ กรณีที่เป็นวัสดุหินที่มีแหล่งที่มา หรือเป็นการโม่ย่อยหินในลักษณะต่อไปนี้ เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบต้องแจ้งสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ เพื่อขอให้เจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญจากสำนักวิเคราะห์ฯ ส่วนธรณีวิศวกรรม ไปตรวจสอบ วิเคราะห์ ประเมินความเหมาะสมก่อนนำมาใช้งาน คือ
 - 1.1. แหล่งวัสดุหินที่เป็นแหล่งหินใหม่ หรือเป็นวัสดุหินที่ได้มาจากการตัดคันทาง
 - 1.2. แหล่งวัสดุหินที่ได้มาจากบริเวณเหมืองแร่ หรือเป็นวัสดุที่ได้จากการทำเหมืองแร่
 - 1.3. โรงโม่ย่อยหินที่เป็นชนิดที่จัดตั้งขึ้นเป็นการชั่วคราวเฉพาะกิจ (Mobile Plant)
2. ลักษณะทางธรณีวิทยา วัสดุมวลหินโม (Crushed Rock Aggregates) ต้องเป็นหินแข็งมีชั้นการผุสลาย (Degree of Weathering) อยู่ในชั้นหินสด (Fresh Rock) แร่ในหินไม่มีการผุสลาย วัสดุหินและวัสดุหินโม ต้องไม่เป็นชนิดวัสดุหรือมีลักษณะดังนี้
 - 2.1. วัสดุแร่หรือสินแร่ชนิดต่าง ๆ เช่น Anhydrite สินแร่เหล็ก แมงกานีส ฯลฯ
 - 2.2. วัสดุหินที่เป็น Sheared Rock หรือ Deformed Rock หรือ Foliated Rocks ซึ่งเป็นหินที่มีชั้นแนวอ่อนตัว (Plane of Weakness) อยู่ในเนื้อมวลหินอันเกิดจากการที่หินถูกแรงกระทำ เป็นผลให้แร่ในหินเกิดการจัดเรียงตัวกันเป็นชั้น ๆ เช่น หิน Phyllite, Schist, Slate และหินชนิดอื่น ๆ ที่เกิดอยู่บริเวณที่เป็น Sheared Zone หินเหล่านี้ผิวหน้าหินจะมีลักษณะลื่นมัน เป็นแผ่นเรียบ สามารถจะแยกหรือแตกออกเป็นแผ่นได้ง่าย
 - 2.3. วัสดุหิน Shale, Mudstone
 - 2.4. สีของวัสดุหินหรือวัสดุมวลหินโม ต้องไม่เป็นสีเหล่านี้ เช่น สีน้ำตาล น้ำตาลแดง เขียว ชมพู ขาว
 - 2.5. รูปร่างลักษณะวัสดุมวลหินโม (Aggregate Shape) ต้องไม่มีลักษณะเป็นแผ่น (Flaky) หรือมีรูปร่างยาว (Elongated)
 - 2.6. ลักษณะพื้นผิวหน้าวัสดุหินหรือวัสดุมวลหินโม (Surface Texture of Aggregates) ต้องไม่มีลักษณะลื่นมัน หรือเป็นพื้นผิวของ Sheared Plane ผิวหน้าหินถูกเคลือบด้วยผงแร่ (Coating), Mica, ถ่าน, แร่ดิน (Clay Minerals)
3. คุณสมบัติของหิน คุณสมบัติบางประการของหินชนิดต่าง ๆ ที่เป็นหินสด (Fresh) มีคุณภาพเหมาะสมนำมาใช้เป็นวัสดุทาง ควรมีคุณสมบัติเป็นไปตามตารางที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 7 แสดงคุณสมบัติของหินชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมใช้เป็นวัสดุหินและมวลหินโม

ชนิดหิน	Apparent Specific Gravities		Water Absorption (%)	Los Angles Abrasion (%)
	Average	Range		
หินปูน	2.69	2.684 – 2.766	0.15 – 0.53	25-30
หินบะซอลต์	2.85	2.638 – 2.924	0.45 – 1.60	15-25
หินแกรนิต	2.69	2.540 – 3.000	0.50 – 0.80	35-40
หินควอตไซต์	2.62	2.600 - 2.700	1.80	15-30
หินแอนดีไซต์				20-25
หินโรโอไรต์				20-25

4. การทดสอบตรวจวัดหาปริมาณการขยายตัวของวัสดุมวลหินโม ก่อนการนำวัสดุมวลหินโมหรือหินคลุก (Crushed Rock Aggregates) มาใช้งาน ต้องมีการทดสอบหาปริมาณการขยายตัว (% Swell) ซึ่งไม่ควร มีปริมาณการขยายตัวที่ตรวจวัดได้

กรณีที่วัสดุหิน หรือวัสดุมวลหินโม ที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างทาง ไม่เป็นไปตามรายละเอียดดังกล่าว ข้างต้นข้อใดข้อหนึ่งหรือหลายข้อ เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบต้องดำเนินการแจ้งสำนักวิเคราะห้และตรวจสอบ เพื่อ ขอให้เจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญจากสำนักวิเคราะห้ฯ ไปตรวจสอบ วิเคราะห์ ประเมินความเหมาะสมของวัสดุหินนี้ ก่อนนำมาใช้งาน



แหล่งเหมืองหินปูน จังหวัดชลบุรี

ที่มา : <http://www3.rdi.ku.ac.th/wp-content/uploads/2016/08/3.jpg>



แหล่งหิน จังหวัดระยองและลักษณะหิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินแกรนิต
ที่มา : <http://www3.rdi.ku.ac.th/wp-content/uploads/2016/08/4.jpg>
รูปที่ 46 ตัวอย่างวัสดุหินผสมคอนกรีตตามแหล่งหิน



(ก) หินแอนดีไซต์ จ. เพชรบูรณ์ (ข) หินควอร์ตไซต์ จ.กำแพงเพชร
ที่มา : <http://www3.rdi.ku.ac.th/wp-content/uploads/2016/08/5-e1470832905412.jpg>



(ค)



(ง)

(ค) หินชีสต์/ไนท์ จ.ตาก

(ง) หินบะซอลต์ จ.บุรีรัมย์

ที่มา : <http://www3.rdi.ku.ac.th/wp-content/uploads/2016/08/6-e1470833029686.jpg>

รูปที่ 47 ตัวอย่างวัสดุหินผสมคอนกรีตตามแหล่งหิน



ตรวจสอบคุณสมบัติทั่วไปของหิน ที่โรงโม่หิน



ตรวจสอบหินใหญ่ ก่อนนำหินเข้าปากม่



ตรวจสอบหน้าผาหิน ก่อนทำการระเบิดหิน

รูปที่ 48 การสำรวจแหล่งวัสดุมวลรวมหายาบ ก่อนนำมาใช้ก่อสร้างถนนคอนกรีต



สีของหินผสมคอนกรีตที่เหมาะสม



สีของหินผสมคอนกรีตที่ไม่เหมาะสม

รูปที่ 49 การป้องกันการใช้วัสดุหินที่ไม่เหมาะสม



ทำการหยดกรดทดสอบหินผสมคอนกรีต



หินที่น้ำกรดไม่ทำปฏิกิริยา จะไม่เกิดฟองฟู
สันนิษฐานว่าหินนั้น มีคุณสมบัติที่ใช้ไม่ได้

รูปที่ 50 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อป้องกันการใช้วัสดุหินที่ไม่เหมาะสม

ปัญหาคุณภาพของวัสดุมวลรวมที่ใช้ในการก่อสร้าง ที่พบความเสียหายของคอนกรีตจากการปนเปื้อนแร่ไฟโรทีนในมวลรวม ตลอดจนมีหลักฐานยืนยันลักษณะการเสื่อมสภาพทางเคมี โดยธรรมชาติแล้วมวลรวมมีพื้นฐานมาจากหินซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่แปรปรวนและมีความหลากหลายมากทั้งจากแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ แหล่งกำเนิด ลักษณะการก่อตัว และการผุกร่อนเปลี่ยนแปลงสภาพ จากสภาวะแวดล้อมจนอยู่ในสถานะที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง มีรายงานเป็นจำนวนมากกล่าวถึงปัญหาเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างแร่ธาตุบางชนิดที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาที่ปนอยู่ในมวลรวมและสารอัลคาไลในปูนซีเมนต์ ที่รู้จักกันในชื่อ ปฏิกิริยาอัลคาไลกับมวลรวม (Alkali Aggregate Reaction, AAR) โดยแร่ธาตุที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เช่น ซิลิกา (Silica) หรือ คาร์บอเนตบางชนิด ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการเสื่อมสภาพจากมวลรวมที่ต่างกัน

ปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวมสามารถแบ่งแยกออกได้เป็น 3 ชนิดหลัก ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

1.) Alkali – Silica Reaction เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างไฮดรอกไซด์ไอออนของธาตุโลหะในซีเมนต์เพสต์กับซิลิกา (Silica) หลายรูปแบบ (ทั้งผลึกไม่ชัด (Crystalline) และไม่เป็นผลึก (Amorphous)) ซึ่งมีอยู่ในมวลรวมหลายประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรวดและทราย เป็นสาเหตุทำให้เกิดการแตกร้าวอย่างมากในคอนกรีตและนำไปสู่การวิบัติ ซิลิกาในมวลรวมที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับสารอัลคาไล ได้อัลคาไลซิลิกาเจล (Alkali-Silica Gel) ซึ่งสามารถดูดซับน้ำและขยายตัวได้มาก การขยายตัวนี้ถ้ามีมากพอจะนำไปสู่การแตกร้าวของซีเมนต์เพสต์โดยรอบมวลรวม



รูปที่ 51 Pattern Cracking (Alkali - Silica Reaction)

ที่มา : <http://www.thaiengineering.com/2015/images/content/VisualInspection/10>.

2.) Alkali – Silicate Reaction เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างไฮดรอกไซด์ไอออนของธาตุโลหะในซีเมนต์เพสต์กับแร่ซิลิเกต (Silicate) ซึ่งมักมีลักษณะเป็นชั้นอยู่ในเนื้อมวลรวม Alkali Silicate Reaction นี้จะมีลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาคลายคลึงกันกับ Alkali Silica Reaction ผลผลิตของปฏิกิริยาก็คล้ายคลึงกันด้วย นั่นคือ จะได้ Silica Gel ที่มีสีใส แต่อาจจะเปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่นได้ถ้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์

ในอากาศ และเปลี่ยนเป็นสี คล้ำถ้าสกปรก โดยปกติแล้ว ปฏิกิริยา Alkali Silicate Reaction จะดำเนินไปได้ ซ้ำกว่า Alkali Silica Reaction

3.) Alkali – Carbonate Reaction เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง ไฮดรอกไซด์ไอออนของธาตุโลหะ ในซีเมนต์เฟสกับแร่คาร์บอเนตในมวลรวมบางประเภท เช่น Argillaceous (Clayey) Dolomitic limestone ที่มีผลึก Dolomite ขนาดเฉลี่ยประมาณ 50 μm แทรกอยู่ในโครงสร้างของ แร่แคลไซต์ (Calcite) และแร่ดินเหนียว (Clay Minerals) เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการขยายตัวและทำให้คอนกรีตเกิดการเสียหายได้



รูปที่ 52 Pattern Cracking (Alkali – Carbonate Reaction)

ที่มา : <http://www.thaiengineering.com/2015/images/content/VisualInspection/11.jpg>

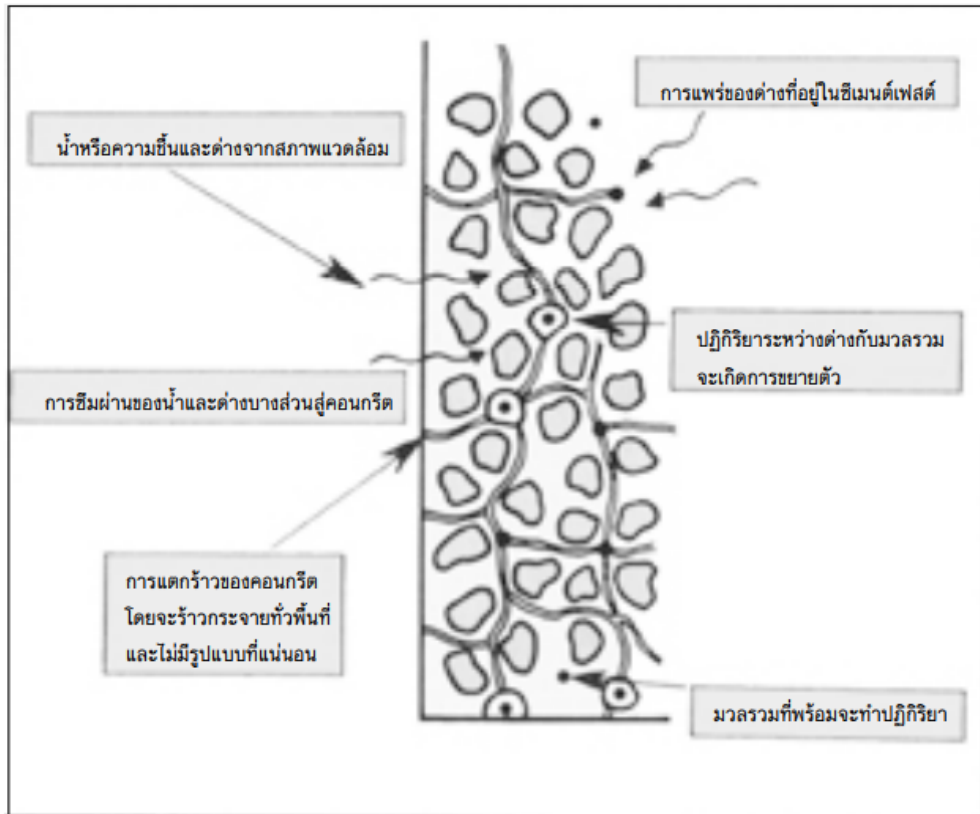
แร่โดโลไมท์ (Dolomite) มีการกำเนิดเช่นเดียวกับแร่แคลไซต์ พบในหินปูนโดโลไมท์ (Dolomitic limestone) หรือในหินอ่อนโดโลไมท์ (Dolomitic marble) โดโลไมท์ที่พบมีมวลขนาดใหญ่ ๆ นั้น เข้าใจกันว่าเป็นการกำเนิดแบบทุติยภูมิ ซึ่งเกิดจากหินปูนที่มีอยู่เดิมถูกแทนที่ด้วยธาตุแมกนีเซียม หรือพบเกิดเป็นเพื่อนแร่ในสายแร่ตะกั่วหรือสังกะสี ซึ่งวิ่งตัดผ่านหินปูน ซึ่งแหล่งในประเทศไทยพบที่ อ.ท่าม่วง, เขาลำ, อ.เมือง, วัดดัง อ.เมือง จ.กาญจนบุรี, เกาะสีชัง จ.ชลบุรี และที่เขารักเกียรติ อ.รัตนบุรี จ.สงขลา

ทั้งนี้ หากนำมวลรวมที่มีแร่โดโลไมท์ (Dolomite) ปนอยู่ มาใช้ผสมคอนกรีต จะทำให้เกิดปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ เมื่อถูกความร้อนจะขยายตัวและทำให้เกิดรอยแตก ซึ่งในต่างประเทศจะกำหนดอย่างชัดเจนว่า “ห้ามใช้แร่ชนิดนี้ในงานทาง” อย่างไรก็ตาม ผู้ควบคุมงานจะต้องชี้แจงทำความเข้าใจกับผู้รับจ้าง ถึงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น โดยอาจขอข้อมูลเพิ่มเติมจากสำนักงานทรัพยากรธรณีในพื้นที่

ความเสียหายที่เกิดขึ้น

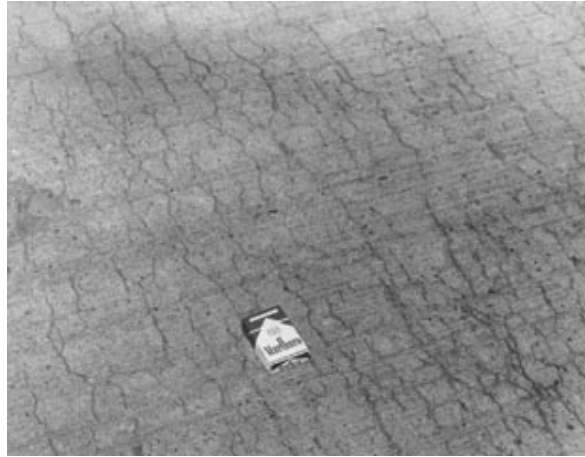
ปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวมทั้ง 3 ปฏิกิริยา จะก่อให้เกิดความเสียหาย ดังนี้

1. ผิวคอนกรีตจะแตกเสียหาย ลักษณะจะเป็นการแตกร้าวกระจายทั่วพื้นที่ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน
2. มีน้ำเหนียวๆ ไหลออกจากผิวคอนกรีต
3. ผิวคอนกรีตจะหลุดร่อน
4. คอนกรีตจะสูญเสียกำลังอัดไป



รูปที่ 53 ความเสียหายของคอนกรีตจากปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม

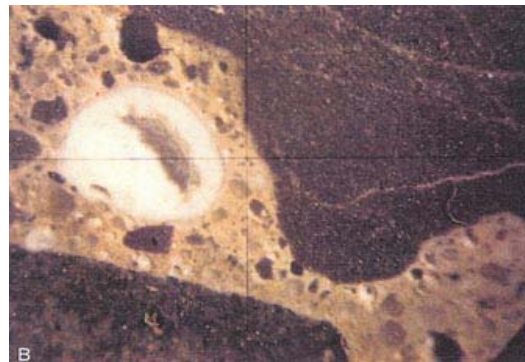
ที่มา : http://www.cpacacademy.com/download/cpacacademy_com/e-contech%20u15.pdf



รูปที่ 54 TYPICAL DESTRUCTIVE ALKALI-SILICA REACTION IN PAVEMENT

ที่มา :

<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/97146/images/10-3.jpg>



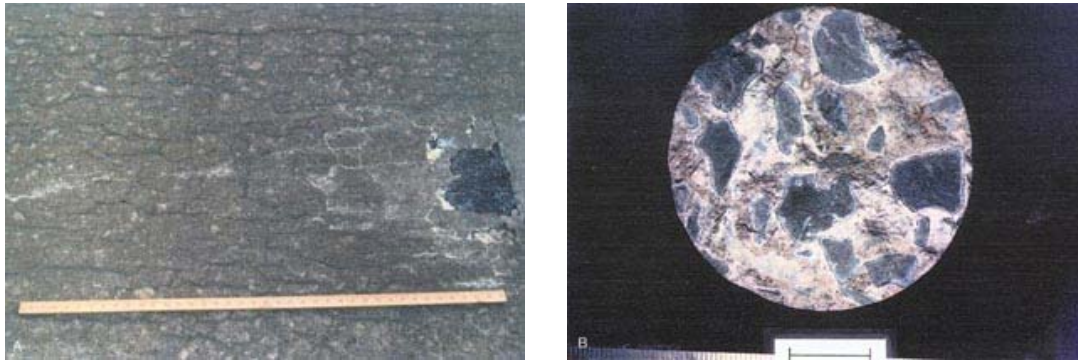
รูปที่ 55 DESTRUCTIVE ALKALI-SILICA REACTION IN PAVEMENT.

A. Pavement.

B. Alkali-silica gel in a 2-mm void in a lapped slice from the pavement in A. The dark aggregate is siltstone. (Photographs by M. C. Thomson, PennDot.)

ที่มา :

<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/97146/images/10-7a.jpg>



รูปที่ 56 ALKALI-SILICA REACTION IN LONGITUDINALLY REINFORCED PAVEMENT CONSTRUCTED WITH DARK METABASALT AGGREGATE.

Pattern of cracks on surface.

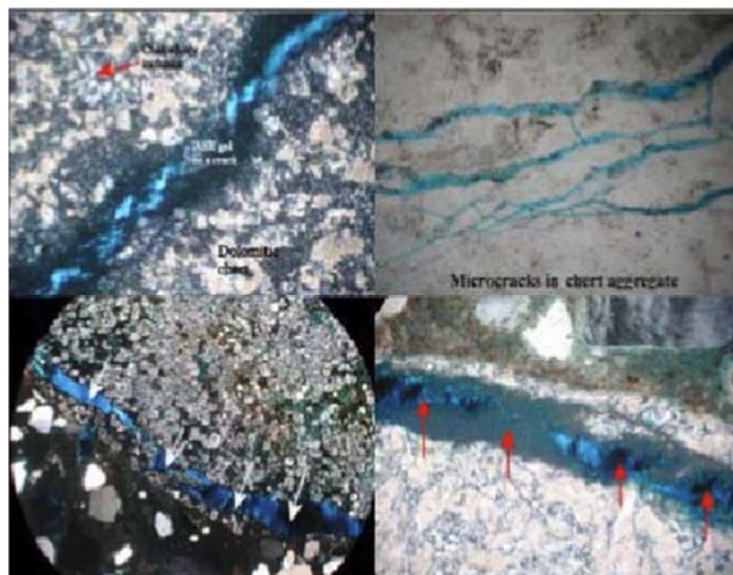
A. Pavement.

B. 4-in, core that fractured on this surface on removal from the pavement. Notice the dried, white, carbonated gel around each piece of aggregate.

Characteristic crack pattern associated with the alkali-silica reaction affecting a [concrete step barrier](#) on an US motorway

ที่มา :

<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/97146/images/10-8b.jpg>



รูปที่ 57 การแตกร้าวระดับจุลภาค (Microcrack) จากปฏิกิริยา ASR ที่มีซิลิกาเจลสะสมในรอยร้าว โดยรูปซ้ายบนและล่างเป็นรอยร้าวของหิน dolomitic chert รูปขวามบนและล่างเป็นรอยร้าวของหิน chert

ที่มา : <http://www3.rdi.ku.ac.th/wp-content/uploads/2016/08/1.jpg>

1.4. น้ำ

น้ำที่จะนำมาใช้ผสมคอนกรีตต้องสะอาดปราศจากสารต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต น้ำที่ไม่สะอาดจะทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงต่ำ การพัฒนากำลังอัดช้า เมื่อเปิดใช้งานผิวหน้าถนนจะหลุดลอกทำให้เกิดผิวหน้าที่ไม่เรียบและทำให้ถนนแตกได้ง่าย ถ้าสงสัยในคุณภาพน้ำให้ส่งทดลองคุณภาพ สำหรับน้ำที่ใช้ในการผสมหรือบ่มคอนกรีตต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างควบคุมงาน โดยต้องสะอาด ปราศจากน้ำมัน กรด ต่าง เกลือ น้ำตาล วัชพืช หรือสารอื่นใด ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม น้ำที่นำมาใช้ต้องเป็นน้ำจากแหล่งเดียวกัน และเมื่อทำการทดสอบตาม AASHTO T26 : Quality of Water to be Used in Concrete ต้องมีความเข้มข้นของสารละลายต่าง ๆ ในน้ำได้ไม่เกินกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่ากำหนดความเข้มข้นของสารละลาย และอนุมูลในน้ำ

ชนิดของโครงสร้าง	ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ (ppm.)		
	สารละลายอื่นๆ	อนุมูลคลอไรด์	อนุมูลซัลเฟต
คอนกรีตไม่เสริมเหล็ก	2,000	2,000	1,500
คอนกรีตเสริมเหล็ก	2,000	1,000	1,000
คอนกรีตอัดแรง	2,000	500	1,000

น้ำที่ขุ่น หากนำมาใช้ต้องทำให้ตกตะกอนเสียก่อน และความขุ่นของน้ำต้องไม่เกิน 2,000 ppm. และในกรณีที่ไม่สามารถจะหาน้ำที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดนี้ได้ หรือในกรณีสงสัยว่าน้ำ อาจมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมที่จะใช้ผสมหรือบ่มคอนกรีต ให้ทำการทดสอบคุณภาพของน้ำด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งตามนี้

วิธีที่ 1. ให้ทำการทดสอบคุณภาพน้ำที่สงสัย ตาม AASHTO T106 : Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar โดยการหล่อแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ ถ้าความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ ซึ่งหล่อโดยน้ำที่เก็บทดสอบ เมื่อแท่งคอนกรีตอายุ 7 วัน และ 28 วัน มีค่าไม่น้อยกว่า ร้อยละ 90 ของความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ที่หล่อโดยน้ำกลั่น ก็ให้ถือว่า น้ำ นั้น สามารถจะใช้ผสมหรือบ่มคอนกรีตได้

วิธีที่ 2. ให้ทำการทดสอบคุณภาพน้ำที่สงสัย ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 606 “วิธีการทดลองคุณภาพของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต” แล้วต้องมีความเข้มข้นของสารละลายต่าง ๆ ในน้ำดังนี้

ค่าอนุมูลคลอไรด์	ไม่เกินกว่า 1000 ppm.
ค่าอนุมูลซัลเฟต	ไม่เกินกว่า 1000 ppm.
ค่าสารละลายอื่น ๆ	ไม่เกินกว่า 2000 ppm.

น้ำจากแหล่งน้ำที่นำมาผสมหรือบ่มคอนกรีต ให้ทำการทดสอบคุณภาพน้ำอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง และในกรณีที่นายช่างควบคุมงานเห็นว่า น้ำที่นำมาผสมหรือบ่มคอนกรีตมีคุณภาพเปลี่ยนไป ให้ทำการทดสอบคุณภาพน้ำทันที

**สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
กรมทางหลวง**

อันดับทดลองที่ C-10/2559 วันที่รับตัวอย่าง 24 ธันวาคม 2558 วันที่รับหนังสือ 28 ธันวาคม 2558
 หน่วยงาน โครงการ ฯ สาย อ.กบินทร์บุรี – อ.ปักธงชัย (ทางเชื่อมสันป่า) จ.ปราจีนบุรี
 หนังสือที่ สส.17/2558/121 ลงวันที่ 22 ธันวาคม 2558 สัญญาที่ สส.17/2558 ลงวันที่ 16 กรกฎาคม 2558
 เจ้าของตัวอย่าง บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน)
 เจ้าหน้าที่ส่งตัวอย่าง นายณรงค์ชัย เกษมใจ ตำแหน่ง นายช่างโยธาชำนาญงาน
 เจ้าหน้าที่ทดลอง นางสาวสุภารัตน์ จิระวนิชไพบูรณ์ ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ
 วันที่ทดลอง 12 – 18 กุมภาพันธ์ 2559 แผ่นที่ 1/1

**ผลการทดสอบ
วัสดุผสมคอนกรีต**

คุณลักษณะ	ตัวอย่างที่ 1
1. pH value	7.8
2. Total Solid , ppm.	356
3. Chlorides as Cl^- , ppm.	20
4. Sulfates as SO_4^{2-} , ppm.	37

- หมายเหตุ 1. ทดสอบตามมาตรฐาน AASHTO T 26
 2. น้ำสำหรับผสมคอนกรีต เก็บจากโรงงานผสมคอนกรีต บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด (CPAC)
 ซึ่งตั้งอยู่ที่ กม.13 + 000 LT. ทางหลวงหมายเลข 304 ต.หนองกี่ อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี

ผู้ตรวจสอบ.....
 (นางพรรณา มีประดิษฐ์)
 ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ
 19 ก.พ. 59


 ผู้รับรอง..... 19 ก.พ. 2559
 (นางจิราภรณ์ ทองศรีนุ่น)
 ตำแหน่ง ผู้อำนวยการส่วนวิเคราะห์วัสดุทางวิทยาศาสตร์

ค่าธรรมเนียมการวิเคราะห์เป็นเงิน 550.- บาท
 ผลการวิเคราะห์นี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ได้รับเท่านั้น
 ผลการวิเคราะห์นี้ห้ามนำไปประกาศโฆษณา

(นางจิราภรณ์ ทองศรีนุ่น)
 19 ก.พ. 2559
 พมพ / ตรวจ 19 ก.พ. 59

รูปที่ 58 ผลการทดสอบวัสดุผสมคอนกรีต

1.5. สารผสมเพิ่ม (Chemical Admixtures of Concrete)

สารผสมเพิ่ม หมายถึง สารเคมีที่เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีตก่อนผสมหรือขณะผสม โดยทั่วไป อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ อยู่ระหว่าง 16-32 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงกว่านี้แล้ว ถือว่าเป็นอากาศร้อนสำหรับการปฏิบัติงานคอนกรีต การเทคอนกรีตในขณะที่ อากาศร้อน เป็นปัญหาสำหรับประเทศในภูมิศาสตร์เขตร้อนอย่างประเทศไทย การที่อุณหภูมิสูง จะทำให้น้ำ ภายในคอนกรีตระเหยเร็วมาก ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อัตราการแข็งตัวของคอนกรีตจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวที่ผิว Plastic Shrinkage Crack การแตงผิวหน้ายกขึ้น รวมถึงทำให้เกิดรอยต่อขณะเทคอนกรีต Cold Joint ได้ง่าย การเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสม ไม่ใช่วิธีที่ดี เพราะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง ปัจจุบัน สารผสมเพิ่ม จึงได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในงาน คอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตที่ใช้สารผสมเพิ่ม จะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการทำงานมากขึ้น เช่น การเพิ่ม ความสามารถในการเทได้ การใช้สารเคมีผสมเพิ่ม ประเภทสารหน่วงการแข็งตัว Retarders เพื่อยืดระยะเวลา การแข็งตัวของคอนกรีตให้นานขึ้น ซึ่งสามารถยืดระยะเวลาการทำงานของคอนกรีตมากกว่าที่ไม่ผสมน้ำยา หน่วงการแข็งตัว เป็นต้น

สารผสมเพิ่มแต่ละประเภท ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดเหลว และ ชนิดผง สารผสมเพิ่ม ที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

1.5.1. สารผสมเพิ่มชนิดเหลว

สารเคมีผสมเพิ่มชนิดเหลวที่ใช้ ต้องมีคุณสมบัติตาม มอก.733 ซึ่ง มอก. 733 ได้แบ่งสารเคมีผสมเพิ่ม ตามลักษณะการใช้งานได้ 7 ประเภท คือ

(1) สารลดน้ำ (Water – reducing admixture) หรือ Plasticizer หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำที่จะต้องใช้ผสมคอนกรีต เพื่อให้ได้ความชื้นเหลวตามต้องการ คุณสมบัติการใช้งานที่สำคัญต้องลดน้ำได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5

(2) สารหน่วงการก่อตัว (Retarding admixture) หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อหน่วงเวลาการก่อตัว คุณสมบัติการใช้งานที่สำคัญต้องหน่วงการก่อตัวของคอนกรีตไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 3 ชั่วโมงครึ่ง

(3) สารเร่งการก่อตัว (Accelerating admixture) หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดเวลาการก่อตัว ทำให้คอนกรีตรับแรงได้เร็วขึ้น ต้องเร่งการก่อตัวระยะต้นเร็วขึ้นไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 3 ชั่วโมงครึ่ง

(4) สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (Water – reducing and Retarding admixture) หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำที่ต้องใช้ผสมคอนกรีตและหน่วงเวลาการก่อตัว เป็นสารเคมีผสมเพิ่มที่ใช้มากที่สุดในบ้านเรา มีคุณสมบัติการใช้งานเช่นเดียวกับสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว

(5) สารลดน้ำและเร่งการก่อตัว (Water – reducing and Accelerating admixture) หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำที่ต้องใช้ผสมคอนกรีตและลดเวลาการก่อตัว ให้คอนกรีตรับแรงได้เร็วขึ้น มีคุณสมบัติการใช้งานเช่นเดียวกับสารลดน้ำและเร่งการก่อตัว

(6) สารลดน้ำพิเศษ (Water – reducing admixture, high range) หรือ Superplasticizer หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำตั้งแต่ร้อยละ 12 ขึ้นไป ต้องลดน้ำได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 12 ส่วนใหญ่ใช้กับคอนกรีตที่ต้องการกำลังสูง เช่น คานคอนกรีตอัดแรง

(7) สารลดน้ำพิเศษและหน่วงการก่อตัว (Water – reducing , high range and Retarding admixture) หมายถึง สารผสมเพิ่มที่เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำตั้งแต่ร้อยละ 12 ขึ้นไป ที่จะต้องใช้ผสมคอนกรีต เพื่อให้ได้ความชื้นเหลวตามกำหนดและหน่วงเวลาการก่อตัว มีคุณลักษณะการใช้งานเช่นเดียวกับสารลดน้ำพิเศษและหน่วงการก่อตัว

ใน Brochure เอกสารผู้ผลิตน้ำยาผสมคอนกรีตส่วนใหญ่จะอ้างประเภทน้ำยาผสมคอนกรีตตาม ASTM ซึ่ง ASTM จะแบ่งเป็น 7 ประเภท คือ Type A – G ซึ่ง มอก. ก็ใช้ ASTM อ้างอิง Type A จะตรงกับประเภท 1 และเรียงตามลำดับ โดย Type G ตรงกับประเภท 7



รูปที่ 59 ตัวอย่างสารผสมเพิ่มชนิดเหลว



รูปที่ 60 ตัวอย่างสารผสมเพิ่มชนิดเหลว ที่ Plant Ready - Mixed Concrete (คอนกรีตผสมเสร็จ)

การใช้งานสารผสมเพิ่มชนิดเหลว มีการกำหนดคุณลักษณะตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เกณฑ์กำหนดคุณลักษณะใช้งานสารผสมเพิ่มชนิดเหลว

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด						
		สารลดน้ำ	สารหน่วง การก่อตัว	สารเร่งการ ก่อตัว	สารลดน้ำ และหน่วง การก่อตัว	สารลดน้ำ และเร่งการ ก่อตัว	สารลดน้ำ พิเศษ	สารลดน้ำ พิเศษและ หน่วงการ ก่อตัว
1	น้ำ ร้อยละของ ปริมาณน้ำที่ผสม คอนกรีตควบคุม* ไม่เกิน	95			95	95	88	88
2	ระยะเวลาการก่อตัว เทียบกับคอนกรีต ควบคุมชั่วโมง:นาที การก่อตัวระยะต้น อย่างน้อย แต่ไม่เกิน การก่อตัวระยะ ปลาย อย่างน้อย แต่ไม่เกิน	- เร็วขึ้น 1:00 หรือ ช้าลง 1:30 - เร็วขึ้น 1:00 หรือ ช้าลง 1:30	ช้าลง 1:00 ช้าลง 3:30 - ช้าลง 3:30	เร็วขึ้น 1:00 เร็วขึ้น 3:30 เร็วขึ้น 1:00 -	ช้าลง 1:00 ช้าลง 3:30 - ช้าลง 3:30	เร็วขึ้น 1:00 เร็วขึ้น 3:30 เร็วขึ้น 1:00 -	- เร็วขึ้น 1:00 หรือ ช้าลง 1:30 - เร็วขึ้น 1:00 หรือ ช้าลง 1:30	ช้าลง 1:00 ช้าลง 3:30 ช้าลง 1:00 ช้าลง 3:30
3	ความต้านแรงอัด ร้อยละของ คอนกรีตควบคุม ไม่ น้อยกว่า เมื่อ 1 วัน 3 วัน 7 วัน 28 วัน	- 110 110 110	- 90 90 90	- 125 100 100	- 110 110 110	- 125 110 110	140 125 115 110	125 125 115 110
4	ความต้านแรงดัด ร้อยละของ คอนกรีตควบคุม ไม่ น้อยกว่า เมื่อ 3 วัน 7 วัน 28 วัน	100 100 100	90 90 90	110 100 90	100 100 100	110 100 100	110 100 100	110 100 100

หมายเหตุ * หมายถึง คอนกรีตที่ไม่ใส่สารผสมเพิ่ม

ข้อควรระวังในการใช้งาน สารเคมีผสมเพิ่ม

- 1) สารเคมีผสมเพิ่มที่นำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติตาม มอก. 733 ส่วนประกอบของสารผสมเพิ่ม ต้องไม่มีสารเคมีในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อเหล็กเสริมและปูนซีเมนต์ และต้องมีข้อมูลเทคนิคที่สำคัญ เช่น ผลของสารผสมเพิ่มต่อคอนกรีต ส่วนประกอบที่สำคัญ ปริมาณที่ควรใช้ และข้อเสียที่เกิดจากการใช้ปริมาณเกินกำหนด ข้อมูลจำเพาะของสารผสมเพิ่ม อย่างน้อยต้องมีรายละเอียด ดังนี้
 - (1.1) ชนิดของสารผสมเพิ่ม ชื่อและองค์ประกอบทางเคมี เครื่องหมายการค้า และโรงงานผู้ผลิต
 - (1.2) ปริมาณ วิธีการใช้ และผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณและวิธีการใช้
 - (1.3) ปริมาณของอนุภาคคลอไรด์ ในสารผสมเพิ่ม
 - (1.4) ปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้น ในคอนกรีตเมื่อใช้สารผสมเพิ่ม

- 2) ควรใช้ปริมาณตามที่ผู้ผลิตแนะนำ พร้อมทั้งตรวจสอบผลจะเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่
- 3) ต้องวัดการผสมที่แน่นอน เนื่องจากอัตราการใช้สารเคมีผสมเพิ่มประมาณ 0.1 – 0.3 เปอร์เซ็นต์ ถ้าปริมาณที่เติมลงไปไม่แน่นอน เช่น สารหน่วงการก่อตัว ซึ่งถ้าใส่มากเกินไป จะทำให้คอนกรีตไม่แข็งตัว ซึ่งเกิดขึ้นบ่อย ๆ
- 4) ผลของสารผสมเพิ่มต่อคุณสมบัติอื่น ๆ
- 5) สำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก สารผสมเพิ่มที่ใช้จะต้องไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ผสมอยู่ในองค์ประกอบทางเคมีของสารผสมเพิ่มนั้น และต้องไม่มีอนุมูลคลอไรด์ชนิดอื่น ๆ ปนอยู่เกินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของสารผสมเพิ่ม
- 6) สำหรับงานคอนกรีตอัดแรง สารผสมเพิ่มที่ใช้จะต้องไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ อนุมูลฟลูออไรด์ อนุมูลซัลเฟต และอนุมูลไนเตรท ผสมอยู่ในองค์ประกอบทางเคมีของสารผสมเพิ่มนั้น และต้องไม่มีอนุมูลคลอไรด์ชนิดอื่น ๆ ปนอยู่เกินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของสารผสมเพิ่ม

1.5.2. สารผสมเพิ่มชนิดผง

สารผสมเพิ่มชนิดผง เป็นแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral Admixture) ซึ่งได้จากการนำเอาผงแร่ธาตุบดละเอียดมาผสมกับปูนซีเมนต์ ในขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ หรืออาจนำเอาผงแร่ธาตุบดละเอียดผสมกับผงซีเมนต์เลยก็ได้ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของคอนกรีตตามที่ต้องการ สารผสมเพิ่มชนิดนี้ สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1) วัสดุเฉื่อย หรือมีความไวต่อปฏิกิริยาดำ (Inert Minerals)

วัสดุประเภทนี้ได้แก่ หินปูนละเอียด ทรายละเอียด ผุ่นหิน เป็นต้น โดยการนำมาบดผสมกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 ในสัดส่วน 20-30% ปูนซีเมนต์ที่ผสมวัสดุเฉื่อยดังกล่าว ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเสือ ตราม้า เป็นต้น นิยมใช้ในงานก่อฉาบ งานปูนปั้น เพราะเหนียวลื่นและแข็งตัวช้า



รูปที่ 62 ตัวอย่างทรายละเอียด เป็นวัสดุประเภทวัสดุเฉื่อย

ที่มา : <https://sites.google.com/site/mypot24/6-wasdu-chang>

วัสดุเฉื่อยประเภทนี้มีผลทำให้

- (1.1) เพิ่มความสามารถในการเทได้ของคอนกรีต
- (1.2) ช่วยป้องกันการแยกตัวของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีความเหนียวขึ้น การเกาะตัวกันของส่วนผสมดีขึ้น
- (1.3) ในงานที่ต้องการกำลังคอนกรีตต่ำ หากเราใช้ปูนซีเมนต์น้อย อาจทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ไม่พอเพียงที่จะห่อหุ้มวัสดุผสมได้ทั้งหมด ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยการใช้แร่ธาตุประเภทวัสดุผสมเฉื่อยให้ช่วยยึดเกาะส่วนผสม
- (1.4) ลดความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา Hydration เนื่องจากการลดปริมาณปูนซีเมนต์ลง
- (1.5) วัสดุเฉื่อยช่วยให้ส่วนผสมเกาะตัวกันดี และมีความเหนียวขึ้น ทำให้ช่วยลดการเยิ้ม และช่วยให้ตกแต่งผิวหน้างานได้ง่าย

2) วัสดุเชื่อมประสาน (Cementitious Materials)

สารประเภทนี้ มีคุณสมบัติเป็นปูนซีเมนต์ธรรมชาติ มีความสามารถในการให้กำลังรับแรง และทำให้คอนกรีตมีความทนทาน มีความสามารถในการเชื่อมประสานในตัวเอง สารจำพวกนี้ ได้แก่ ตะกรันเตาถลุง หรือตะกรันเหล็ก (Ground Granulated Blast Furnace Slag) นำมาผสมเพิ่มเพื่อปรับสภาพการก่อตัว และใช้แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อลดต้นทุนการผลิต



รูปที่ 63 ตัวอย่างตะกรันเตาถลุง หรือตะกรันเหล็ก เป็นวัสดุประเภทวัสดุเชื่อมประสาน

ที่มา : <http://recycle.dpim.go.th/wastelist/content/waste/photo/20130907112216-1.jpg>

ประโยชน์ของตะกรันเหล็ก ซึ่งเป็นสารประเภทนี้มีผลทำให้

- (2.1) ปฏิกิริยาของคอนกรีตที่ผสมด้วยตะกรันเหล็กจะช้ากว่าคอนกรีตทั่วไป ส่งผลให้ความร้อนจากปฏิกิริยาต่ำ ทำให้เหมาะที่จะใช้ในงานโครงสร้างที่มีปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน เช่น ฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ และเขื่อน เป็นต้น
- (2.2) คอนกรีตมีความทนทานต่อซัลเฟต, น้ำทะเล และสารเคมีต่าง ๆ

- (2.3) ลดปฏิกิริยา Alkali - Aggregate Reaction (AAR) ในคอนกรีต คอนกรีตที่ใช้หินที่ทำปฏิกิริยาอัลคาไลในปูน ทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่น มีความต้านทานการซึมผ่านของน้ำได้ดี (Low Permeability) ทำให้เหมาะสำหรับงาน สระว่ายน้ำและถังเก็บน้ำ เป็นต้น
- (2.4) เพิ่มกำลังอัดและกำลังดัด (Flexural Strength) ของคอนกรีตที่มีอายุมากกว่า 28 วัน

3) วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Materials)

วัสดุปอซโซลาน คือ วัสดุที่มี ซิลิกา (SiO_2) หรือ ซิลิกาและอลูมินา ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) เป็นสารประกอบทางเคมี ซึ่งตัวมันเองมีคุณสมบัติในทางยึดประสานน้อย หรือไม่มีเลย มีลักษณะเป็นเม็ดละเอียด เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ จะได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน วัสดุปอซโซลาน ได้แก่ ซิลิกาฟูม (Microsilica) เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) เถ้าแกลบเปลือกไม้ (Bark Ash) ขี้เถ้าลอย (Fly Ash) หรือ Pulverized Fuel Ash (PFA) ซึ่งเป็นเถ้าอินทรีย์ที่เหลือจากการเผ่า่านหิน เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Fuel Ash) เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash) ดินขาวเผา (Metakaolin) เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาแทนที่สารซีเมนต์บางส่วนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและองค์ประกอบของสารเคมีภายใน ของสารปอซโซลานนั้น

การผสมสารชนิดนี้ จะทำให้ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในคอนกรีตลดลง ส่งผลให้คอนกรีตมีความทนทานต่อสารเคมีได้สูงขึ้น นอกจากนี้ ยังใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำปูนซีเมนต์ คอนกรีตจะมีกำลังอัดในช่วงแรกต่ำ แต่กำลังจะสูงขึ้นในภายหลัง และมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ 28 วัน



รูปที่ 64 ตัวอย่างวัสดุปอซโซลาน

ที่มา: http://sungkomonline.com/file/Webboard_ans.php?webID=11&pageID=3&questionID=19

วัสดุปอซโซลาน เป็นวัสดุที่ไม่มีกำหนดในมาตรฐานที่ ทล.ม. 309/2544 “มาตรฐานถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต” แต่สามารถนำมาใช้ในงานของกรมทางหลวงได้ ทั้งนี้ ต้องควบคุมปริมาณปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของคอนกรีตที่ระบุไว้ในแบบก่อสร้าง โดยการใส่วัสดุปอซโซลานเป็นสารผสมเพิ่มในคอนกรีต เพื่อเพิ่มคุณสมบัติคอนกรีตเท่านั้น

วัสดุปอซโซลานประเภทนี้มีผลทำให้

- (3.1) เพิ่มความสามารถในการเทของคอนกรีตสด ทำให้เหนียวขึ้น
- (3.2) ทำให้ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา Hydration ลดลง เพราะใช้สารผสมเพิ่มไปทดแทนปูนซีเมนต์จำนวนหนึ่ง ทำให้ปูนซีเมนต์ที่ใช้ลดลง จึงเหมาะที่จะใช้กับงานคอนกรีตหลา
- (3.3) ช่วยหน่วยเวลาการก่อตัว จึงเหมาะกับงานที่ต้องใช้เวลามาก ๆ
- (3.4) เกิดความประหยัด เนื่องจากสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงได้



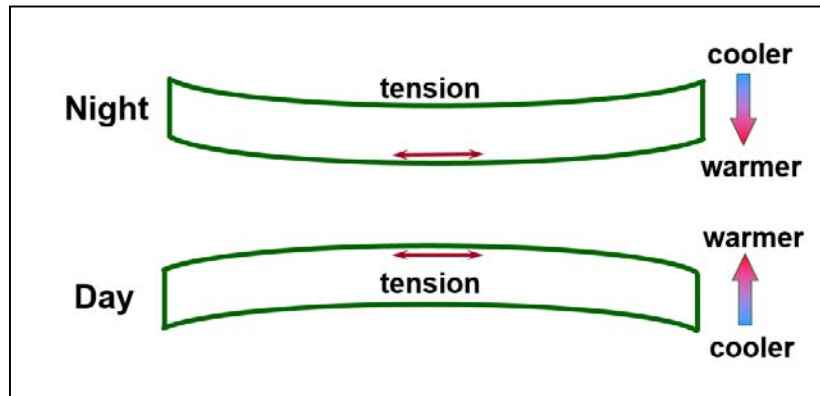
รูปที่ 65 ตัวอย่างสารผสมเพิ่มชนิดผง วัสดุประเภทปอซโซลาน

ตัวอย่างการใช้แร่ธาตุผสมเพิ่มในส่วนผสมคอนกรีต ได้แก่ การทำ High Performance Concrete ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ให้กำลังอัดสูงในเวลาสั้น และมีความสามารถเทได้สูงโดยไม่แยกตัว ทึบน้ำ และทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตหรือสารเคมีอื่น

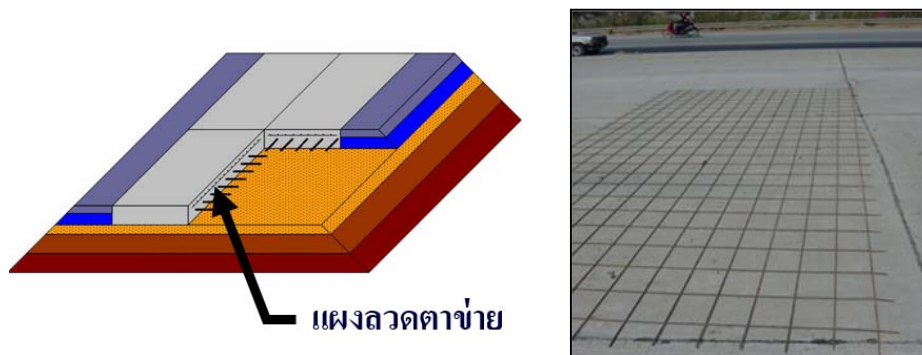
2. การควบคุมคุณภาพวัสดุเหล็กเสริมโครงสร้างถนนคอนกรีต

2.1. เหล็กเสริมกันการแตกร้าว (Temperature Steel)

ผิวทางคอนกรีตที่ใช้เหล็กเสริมจะต้องมีแผงลวดตาข่ายหรือตะแกรงเหล็กเส้น เป็น Temperature Steel ใส่แผ่นพื้นคอนกรีตทำหน้าที่ป้องกันการแตกร้าวจากการขยายตัวที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นคอนกรีต เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดวัน เหล็กเสริมขนาดเล็ก และ Spacing แคบ จะทำหน้าที่ Temperature Steel ได้ดีกว่าเหล็กขนาดใหญ่แต่ Spacing กว้าง ปลายแผงลวดตาข่ายหรือตะแกรงเหล็กเส้น จะต้องอยู่ห่างจากขอบของแผงคอนกรีตทุกด้าน ไม่เกิน 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 66 Thermal-Gradient Related Stresses



รูปที่ 67 ตัวอย่างแผงลวดตาข่าย

การวางตำแหน่งแผงลวดตาข่ายต้องวางให้ถูกต้อง ตามแบบเพื่อให้ทำหน้าที่ Temperature Steel ได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้เหล็กเสริมในผิวทางคอนกรีต จะต้องเป็นตะแกรงลวดเหล็กกล้า หรือ ตะแกรงเหล็กเส้น ดังนี้

2.1.1. ตะแกรงลวดเหล็กกล้า หรือแผงลวดเหล็กกล้าตาข่ายเชื่อม (Steel Wire Fabric)

- หากไม่ได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่น ตะแกรงลวดเหล็กกล้าจะต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “ตะแกรงลวดเหล็กกล้าเชื่อมติดเสริมคอนกรีต” มาตรฐานเลขที่ มอก. 737 ผู้รับจ้างจะต้องส่งตัวอย่างแผงลวดตาข่ายมาให้กรมทางหลวงทดสอบรายละเอียดต่าง ๆ ให้ได้ตามมาตรฐานก่อนที่จะนำไปใช้งาน

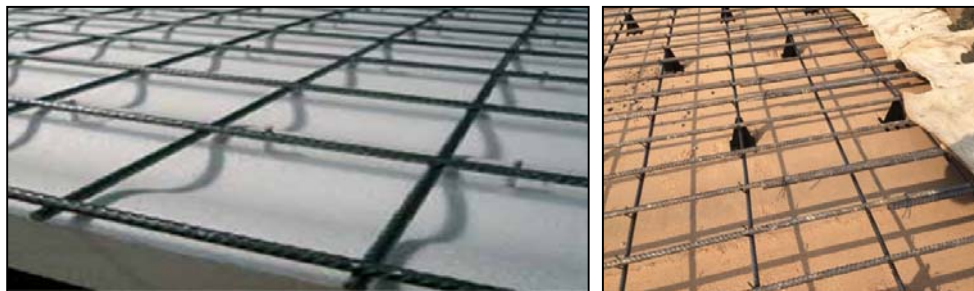


รูปที่ 68 ตัวอย่างตะแกรงลวดเหล็กกล้า

- ลวดที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “ลวดเหล็กกล้าดิ่งเย็นเสริมคอนกรีต” มาตรฐานเลขที่ มอก. 747 และขนาดของลวดที่เล็กที่สุดที่จะนำมาใช้ได้ ซึ่งตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 309/2544 ลวดจะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ระบุ 3.3 มิลลิเมตร และพื้นที่หน้าตัดระบุ 8.56 ตารางมิลลิเมตร
- ในกรณีที่ลวดเหล็กของตะแกรงลวดเหล็กกล้ามีการทาบเหลื่อม (Lapped Splices) ต้องจัดให้มีการทาบเหลื่อม โดยมีความยาวของการทาบเหลื่อม ไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด และไม่น้อยกว่าระยะเรียงของเส้นลวดตามขวางในแนวตั้งฉาก (Cross Wire) + 50 มิลลิเมตร
- ปริมาณของลวดเหล็กที่คิดคำนวณจากพื้นที่หน้าตัดระบุ และการจัดเรียงระหว่างลวดเหล็กในเหล็กในแต่ละทิศทาง ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบ
- จุดเชื่อมของตะแกรงลวดเหล็กกล้า จะต้องมีความแข็งแรง และไม่หลุดจากกันในระหว่างการขนส่ง และการจับวางในขณะทำงาน การหลุดจากจุดเชื่อมในขณะทำงาน ไม่ว่าจะเกิดสาเหตุมาจากอะไรก็ตาม ไม่ถือเป็นสาเหตุของการไม่ยอมรับของ (Reject) ถ้าปริมาณจุดเชื่อมที่หลุดต่อตะแกรงลวดเหล็กกล้า 1 แผง มีจำนวนไม่เกินร้อยละ 1 ของจำนวนจุดเชื่อมทั้งหมด
- หรือตะแกรงลวดเหล็กกล้าที่มีลักษณะเป็นม้วน จะยอมให้มีปริมาณของจุดเชื่อมที่หลุดจากกันได้ไม่เกินร้อยละ 1 ของจุดเชื่อมในพื้นที่ 14 ตารางเมตร
- นอกจากนี้ ตลอดความยาวของเส้นลวดเส้นใดเส้นหนึ่ง จะยอมให้มีจุดเชื่อมหลุดจากกันได้ ไม่เกินครึ่งหนึ่งของจำนวนจุดเชื่อมทั้งหมดที่ยอมให้หลุดจากกันได้ในแต่ละลวดเหล็กตานั้น ๆ
- ในขณะทำการวางแผงลวดเหล็กกล้าต่ายเชื่อม เพื่อก่อสร้างผิวทางคอนกรีต ลวดเหล็กกล้าต่ายเชื่อม จะต้องมีลักษณะเป็นแผงเรียบ ไม่มีม้วนงอ หรือบิดเบี้ยวในทุกทิศทาง
- ความหนาของคอนกรีตที่ปิดทับลวดเหล็กกล้าต่ายเชื่อม ให้ถือตามที่ได้แสดงไว้ในแบบเช่นเดียวกับกรณีของการใช้ตะแกรงเหล็กเส้นเป็นเหล็กเสริมทุกประการ

2.1.2. ตะแกรงเหล็กเส้น

- เหล็กเส้นที่ใช้ทำตะแกรงเหล็กเส้นจะต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “เหล็กเส้นกลม” มาตรฐานเลขที่ มอก. 20 หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “เหล็กข้ออ้อย” มาตรฐานเลขที่ มอก. 24 มีขนาดและระยะเรียงตามที่แสดงไว้ในแบบ



รูปที่ 69 ตัวอย่างตะแกรงเหล็กเส้น

2.1.3. เหล็กเสริมมุม

- เหล็กเส้นที่ใช้ทำเหล็กเสริมมุม จะต้อง มีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “เหล็กเส้นกลม” มาตรฐานเลขที่ มอก. 20 หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “เหล็กข้ออ้อย” มาตรฐานเลขที่ มอก. 24 มีขนาดและระยะเรียงตามที่แสดงไว้ในแบบ ทำหน้าที่ป้องกันการแตกร้าวจากการขยายตัวที่เกิดขึ้นในบริเวณมุมของแผ่นพื้นคอนกรีต



รูปที่ 70 ตัวอย่างเหล็กเสริมมุม

2.2. การควบคุมคุณภาพวัสดุเหล็กเสริมรอยต่อ

2.2.1. เหล็กเดือย (Dowel Bar)

เป็นเหล็กที่ใช้ตามแนวรอยต่อตามขวางซึ่งประกอบด้วย รอยต่อเพื่อหด รอยต่อเพื่อขยายและรอยต่อก่อสร้าง ซึ่งในงานก่อสร้างถนนคอนกรีต รอยต่อตามขวางถือเป็นรอยต่อวิกฤตที่จะเกิดความเสียหายได้ง่ายเมื่อเปิดใช้งาน เหล็กเดือยเป็นเหล็กผิวเรียบกลม ทำหน้าที่เป็นตัวถ่ายน้ำหนักของล้อรถ ระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตแผ่นหนึ่งไปยังแผ่นพื้นคอนกรีตอีกแผ่นหนึ่ง



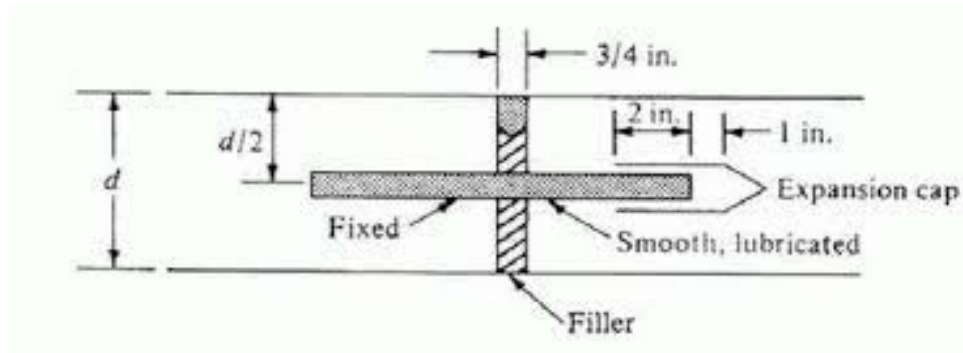
รูปที่ 71 ตัวอย่างเหล็กเดือย (Dowel Bar)

ตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 309/2544 เหล็กเดือย ต้องเป็นเหล็กเส้นกลม ที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “เหล็กเส้นกลม” มาตรฐานเลขที่ มอก. 20 มีผิวเรียบ ปราศจากครีบ บั้ง หรือส่วนคดงออื่น ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดการยึดติดในคอนกรีต ก่อนที่จะนำมาใช้ ครั้งหนึ่งของความยาวของเหล็กเดือยแต่ละท่อนจะต้องทาด้วยแอสฟัลต์ หรือจะใช้สื่อน้ำมันทา ก่อน แล้วทาทับด้วยจาระบีอีกชั้นหนึ่งก็ได้



รูปที่ 72 ตัวอย่างเหล็กเดือย (Dowel Bar)

เหล็กเดือยมีปลายสองปลายฝังอยู่ในแผ่นพื้นคอนกรีต ปลายด้านหนึ่งเนื้อเหล็กจะสัมผัสกับคอนกรีตโดยตรง เรียกปลายด้านนี้ Fixed End ปลายอีกด้านหนึ่งจะเคลือบด้วยยางมะตอย หรือต้องทำการทาสีและทาจาระบีทับ เพื่อป้องกันไม่ให้เนื้อคอนกรีตสัมผัสกับคอนกรีตโดยตรง ช่วยให้แผ่นพื้นคอนกรีตที่หล่อหุ้มปลายด้านนี้สามารถเคลื่อนที่ได้บ้างเล็กน้อย ซึ่งเรียกปลายด้านนี้ว่า Free End



รูปที่ 73 ตัวอย่างรายละเอียดแบบขยายการใส่เหล็กเดือย (Dowel Bar) ที่ระบุในแบบก่อสร้าง

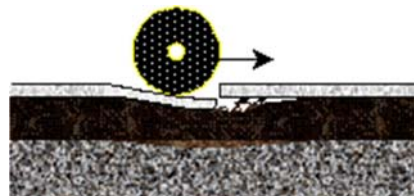
เนื่องจากรอยต่อตามขวางจะต้องขยับตัวได้บ้างเล็กน้อย โดยมีเหล็กเดือยเป็นตัวถ่ายน้ำหนักระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตที่อยู่ติดกัน ดังนั้นเหล็กเดือยจะต้องวางให้ขนานกับแนวกึ่งกลางถนนไม่เอียงในแนวราบและแนวตั้ง

เหล็กเดือยที่วางเอียงไม่ว่าในแนวราบหรือแนวตั้ง หรือเหล็กเดือยที่ผิวไม่เรียบจะทำให้แผ่นพื้นคอนกรีตตรงบริเวณรอยต่อขยับตัวไม่ได้ ทำให้เกิดรอยต่อยึด (Freeze joint) เป็นสาเหตุให้แผ่นพื้นคอนกรีตแตกได้ การเกิดรอยต่อยึดที่รุนแรง จะทำให้แผ่นพื้นคอนกรีตแสดงพฤติกรรมของแผ่นพื้นยาว อาจทำให้คอนกรีตเกิดรอยแตกระหว่างรอยต่อได้

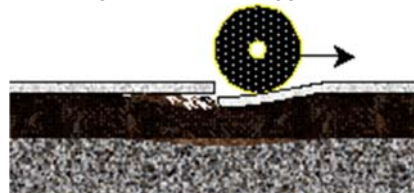


รูปที่ 74 ตัวอย่างการวางเหล็กเดือย (Dowel Bar)

Schematic of faulting progression in JPCP without dowels.



1. Wheel on leave edge of slab (exaggerated to show mechanism).



2. Wheel on approach edge of slab.

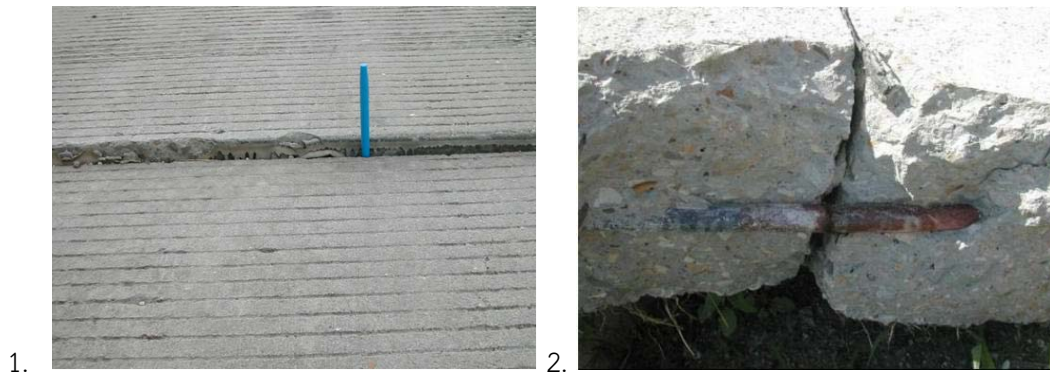


3. Resultant behavior at the JPCP joint that causes faulting.

รูปที่ 75 แผนผังการเกิดรอยเลื่อน (Faulting) เนื่องมาจากไม่มีการวางเหล็กเดือย (Dowel Bar)

ที่มา :

1. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/04122/images/image048.gif>
2. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/04122/images/image050.gif>
3. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/04122/images/image052.gif>



รูปที่ 76 ตัวอย่างความเสียหายของถนนคอนกรีตเนื่องมาจากการวางเหล็กเดือย (Dowel Bar) ผิดพลาด

ที่มา :

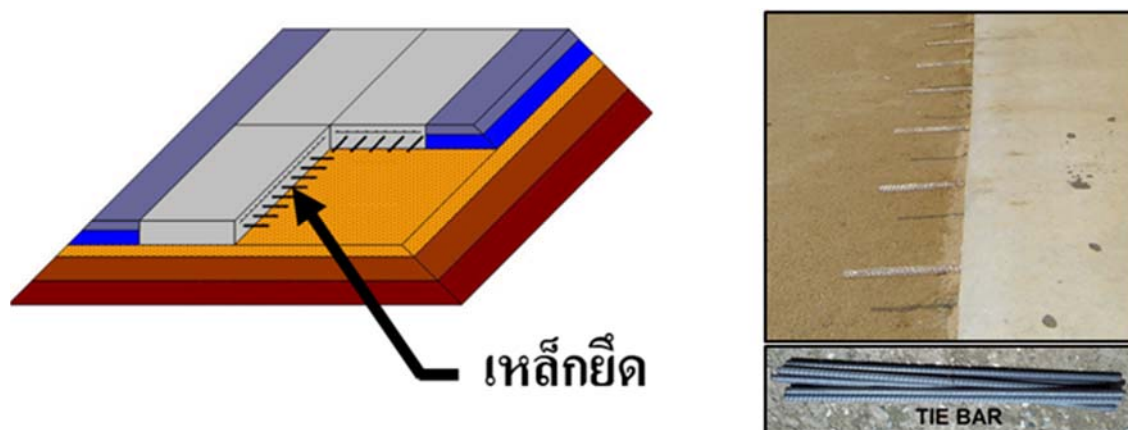
1. http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/images/10_server_fault_transverse_joint.jpg
2. <http://www.pavementinteractive.org/wp-content/uploads/2008/05/Rusted.jpg>

กรณี เหล็กเดือย (Dowel Bar) ที่ระบุในแบบก่อสร้าง กำหนดขนาดที่ไม่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ต้องสั่งผลิตพิเศษ หรือต้องนำเข้าจากต่างประเทศนั้น สามารถใช้เหล็กเดือยขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดในแบบก่อสร้างได้ โดยค่า Strength Index เป็นไปตามที่กำหนด ทั้งนี้ต้องได้รับอนุญาตจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน

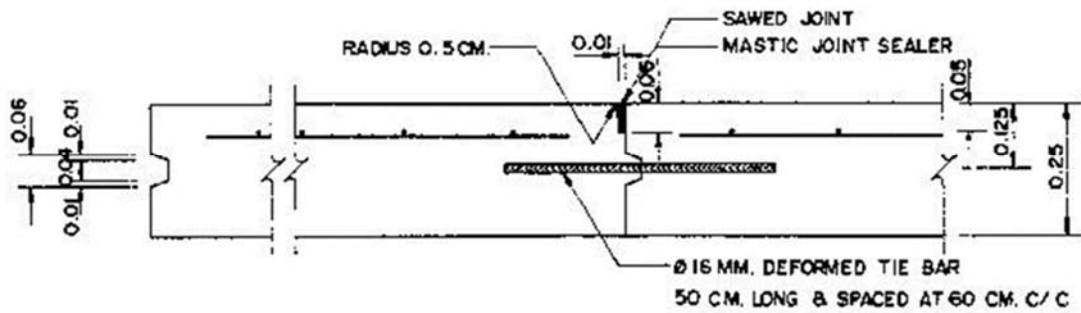
2.2.2. เหล็กยึด (Tie Bar)

เหล็กยึดใส่ตามแนวรอยต่อตามยาว เพื่อป้องกันการขยับตัวทางด้านข้างของแผ่นพื้นคอนกรีต ซึ่งอาจเกิดจากการบิดตัวของแผ่นพื้นคอนกรีต

เนื่องจากการยึดหดตัว หรือน้ำหนักรถ เหล็กยึดจะเป็นเหล็กข้ออ้อย ที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “เหล็กข้ออ้อย” มาตรฐานเลขที่ มอก. 24 ทำหน้าที่ยึดแผ่นพื้นคอนกรีตให้อยู่ในที่ โดยปกติเหล็กยึดจะไม่สร้างปัญหาในงานถนนคอนกรีตเหมือนเหล็กเดือย



รูปที่ 77 การใส่เหล็กยึด (Tie Bar) ตามแนวรอยต่อ



รูปที่ 78 ตัวอย่างรายละเอียดแบบขยายการใส่เหล็กยึด (Tie Bar) ที่ระบุในแบบก่อสร้าง



รูปที่ 79 ตัวอย่างเหล็กยึด (Tie Bar) ใส่ตามแนวรอยต่อตามยาว

2.2.3. ปลอกเหล็กเดียว

จะต้องเป็นโลหะหรือวัสดุสังเคราะห์ที่ได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานโครงการฯ ก่อนจะนำมาใช้งาน ใช้สำหรับสวมเหล็กเดียว เพื่อก่อสร้างรอยต่อเผื่อขยาย เพื่อช่วยให้คอนกรีตขยายตัวได้ป้องกันความเสียหายจากการเกิด Blow Out

ปลอกเหล็กเดียวจะต้องออกแบบให้สวมเหล็กเดียวเข้าไปได้ลึก ไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร ปลายข้างหนึ่งปิด และยึดปลอกให้มีช่องว่างภายในจากปลายเหล็กเดียวที่สวมไว้ถึงปลายปลอกเหล็กเดียวข้างที่ปิด เป็นระยะเท่ากับความกว้างของรอยต่อ หรืออย่างน้อย 25 มิลลิเมตร ปลอกเหล็กเดียวจะต้องเป็นแบบที่ไม่โค้งหรือชำรุดเสียหายในระหว่างการก่อสร้าง การจัดวางจะต้องเป็นไปตามที่กำหนด หนาไม่น้อยกว่า 2.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 80 ตัวอย่างปลอกเหล็กเดี่ยว



รูปที่ 81 ตัวอย่างรายละเอียดแบบขยายการใส่ปลอกเหล็กเดี่ยว ที่ระบุในแบบก่อสร้าง



รูปที่ 82 ตัวอย่างการใส่ปลอกเหล็กเดี่ยว

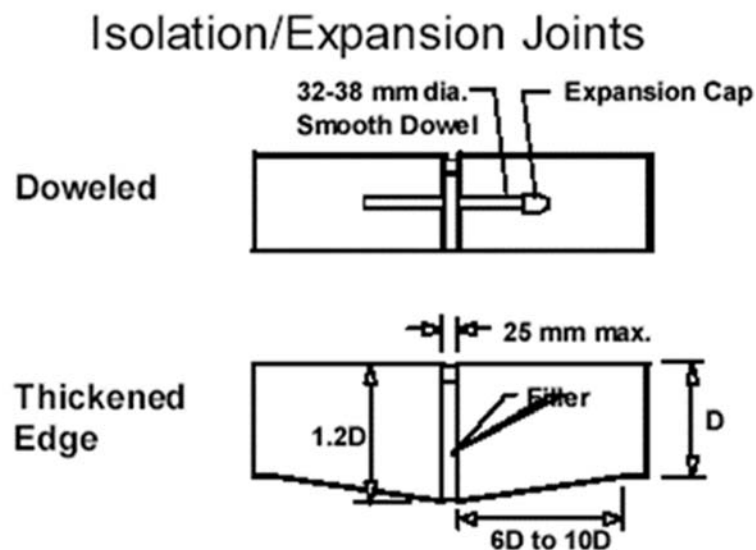
3. การควบคุมคุณภาพวัสดุสำหรับใส่รอยต่อ

3.1. วัสดุอุดรอยต่อคอนกรีต (Joint Filler)

ใช้สำหรับอุดรอยต่อเพื่อขยาย เช่น ขานอ้อย วัสดุที่ใช้อุดรอยต่อเพื่อขยาย จะต้องมีความสมบัติตาม ทล.-ก.301 “ข้อกำหนดของวัสดุสำเร็จรูปอุดรอยต่อเพื่อขยายสำหรับงานคอนกรีต ชนิดไม่ปลิ้นและยึดหยุ่น มี แอสฟัลต์ เป็นส่วนประกอบ” หรือตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “วัสดุอุดรอยต่อคอนกรีตชนิดคั่นรูป และไม่ปลิ้น: แอสฟัลต์” มาตรฐานเลขที่ มอก.1041 หรือตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “วัสดุอุดรอยต่อ คอนกรีตประเภทยางพองน้ำและไม่ก๊อกร” มาตรฐานเลขที่ มอก.1079 และจะต้องเจาะรูให้สอดเหล็กเคียวได้

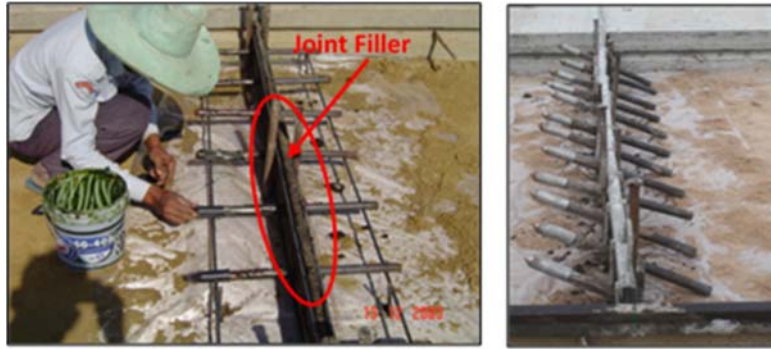


รูปที่ 83 ตัวอย่างวัสดุอุดรอยต่อคอนกรีต (Joint Filler)



รูปที่ 84 ตัวอย่างการใช้วัสดุอุดรอยต่อคอนกรีต (Joint Filler) ที่ระบุในแบบก่อสร้าง

วัสดุอุดรอยต่อแต่ละรอยจะต้องเป็นแผ่นเดียวกันตลอด มีความยาวและความลึกตามที่ระบุไว้ในแบบ เว้นแต่วิศวกรผู้ออกแบบหรือนายช่างผู้ควบคุมงานจะอนุญาตเป็นอย่างอื่น



รูปที่ 85 การใส่ปลอกเหล็กเดือย และวัสดุอุดรอยต่อคอนกรีต (Joint Filler)

ในกรณีที่ได้รับอนุญาตให้ใช้วัสดุอุดรอยต่อมากกว่า 1 แผ่น ในรอยต่อเดียวกัน จะต้องเป็นปลายที่ต่อกันให้แน่นสนิท หรือทำให้ต่อกันแน่นโดยวิธีการอื่นใดที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร

3.2. วัสดุทารอยต่อ (Joint Primer)

วัสดุทารอยต่อ จะช่วยให้เกิดการยึดจับระหว่างผิวคอนกรีตและวัสดุารอยต่อ ต้องเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการไหลแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนของคอนกรีตได้สูง



รูปที่ 86 ตัวอย่างวัสดุทารอยต่อ (Joint Primer)

วัสดุทารอยต่อควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) เมื่อทดลองทาทับบนผิวคอนกรีตแล้วจะต้องแห้งภายใน 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของวัสดุทารอยต่อต้องไม่มากกว่า 0.85 กรัมต่อมิลลิเมตร (850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และมีความหนืดเซย์โบลต์ฟลูอิดในช่วง 30-50 วินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 87 ชุดทดสอบ ความหนืดด้วยวิธีเซย์โบลต์

ที่มา : <http://civil.cim.rmutsv.ac.th/th/lab-highway>

(2) เมื่อทดลองโดยวิธีการทดสอบการยัดเหนียวโดยสมบูรณ์ 1 ครั้ง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “วัสดุয়ারอยต่อคอนกรีตแบบยัดหยุ่นชนิดเทร้อน” มาตรฐานเลขที่ มอก. 479 โดยอนุมัติแล้ว ด้วยการทาวัสตุรอยต่อที่ผิวหน้ามอร์ตาร์บล็อกด้านประกบขึ้นทดสอบของวัสดุয়ারอยต่อชนิดเทร้อน ที่ผ่านการทดสอบคุณภาพว่าใช้ได้แล้ว ในระหว่างการทดสอบต้องไม่เกิดรอยร้าว (Cracking) หรือการแยกตัว (Separation) หรือร่อง (Opening) อย่างหนึ่งอย่างใดลึกเกินกว่า 6.4 มิลลิเมตร ณ จุดหนึ่งจุดใดระหว่างขึ้นทดสอบกับมอร์ตาร์บล็อก

ห้ามใช้แอสฟัลต์อิมัลชันเป็นวัสดุทารอยต่อ วัสดุอื่นใดที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุทารอยต่อได้ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรผู้ออกแบบหรือนายช่างผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้งาน



รูปที่ 88 การทำความสะอาดรอยต่อ และการใช้วัสดุทารอยต่อ (Joint Primer)



รูปที่ 89 การทำความสะอาดรอยต่อ และการใช้วัสดุทารอยต่อ (Joint Primer)

3.3. วัสดุทารอยต่อ (Concrete Joint Sealer)

ต้องเป็นชนิดเทร้อน (Hot Poured Elastic Type) มีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “วัสดุทารอยต่อคอนกรีตแบบยืดหยุ่นชนิดเทร้อน” มาตรฐานเลขที่ มอก. 479 และได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรผู้ออกแบบหรือนายช่างผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้งาน

วัสดุยาแนวรอยต่อ ทำหน้าที่ป้องกันน้ำซึมลงตามแนวรอยต่อ วัสดุอุดรอยต่อที่หมดอายุจะทำให้เกิดการไหลซึมของน้ำผ่านตามแนวรอยต่อผ่านไปสะสมในชั้นทางใต้แผ่นพื้นคอนกรีตอันเป็นสาเหตุของการเกิด Pumping ก่อให้เกิดโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต ทำให้คอนกรีตแตกได้

การนำวัสดุยาแนวรอยต่อไปใช้งานหยอดรอยต่อคอนกรีตหรืองานอุดซ่อมรอยแตกในถนนคอนกรีต โดยทำการให้ความร้อนแก่ Joint Sealer ตามที่กำหนด (140-180 องศาเซลเซียส) จากนั้นเทวัสดุลงในรอยต่อหรือรอยแตกคอนกรีตแล้วปล่อยให้เย็น



รูปที่ 90 ตัวอย่างวัสดุยาแนวรอยต่อ (Concrete Joint Sealer)

ที่มา : http://www.tipcoasphalt.com/th_tipco_joint_primer.aspx

วัสดุยาแนวรอยต่อ ควรมีคุณลักษณะ ดังนี้

- (1) ลักษณะที่ปรากฏ (Appearance) ต้องเป็นเนื้อเดียวกันไม่มีฟองอากาศ
- (2) มีค่าเพิเทรชัน (Penetration) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส น้ำหนัก 150 กรัม เวลา 5 วินาที ข้อกำหนดให้ค่าเพิเทรชันไม่เกิน 90 (0.1 มิลลิเมตร)
- (3) มีค่าการไหล (Flow) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความหนา 5 เซนติเมตร เอียง 75 องศา ข้อกำหนดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร
- (4) มีค่าการยึดเหนี่ยว (Bonding) ที่ทำมุม 0 องศา อัตราเร็ว 3.2 มิลลิเมตร/ชั่วโมง จำนวน 5 รอบ (4 ชั่วโมง/รอบ) จำนวน 3 ตัวอย่าง ข้อกำหนด 6.4 มิลลิเมตร ทั้งนี้ เมื่อทดสอบการยึดเหนี่ยว โดยสมบูรณ์ 1 ครั้ง ขึ้นทดสอบ 2 ในจำนวน 3 ครั้ง ต้องไม่เกิดรอยร้าวหรือการแยกตัว หรือร่องอย่างใดอย่างหนึ่งลึกเกินกว่า 6.4 มิลลิเมตร ณ จุดใดจุดหนึ่งในขึ้นทดสอบ หรือระหว่างขึ้นทดสอบกับมอร์ตาร์บล็อก
- (5) อุณหภูมิปลอดภัย (Safe Heating Temperature) กำหนดไว้มากกว่า 180 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ อุณหภูมิที่ให้ความร้อนได้อย่างปลอดภัย อยู่ระหว่าง 200 - 220 องศาเซลเซียส
- (6) จุดไหลเท (Pour Point) กำหนดค่าต่ำกว่าอุณหภูมิปลอดภัยอย่างน้อย 11 องศาเซลเซียส

การคำนวณปริมาณการใช้วัสดุยาแนวรอยต่อ คิดตามขนาดร่องคอนกรีต ตัวอย่างตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการใช้วัสดุยาแนวรอยต่อที่ความหนาแน่น 1,050 กก./ลบ.ม.

ขนาดร่องคอนกรีต		ปริมาณการใช้ Joint Sealer (กก.) ต่อความยาวร่อง 1 ม.	ความยาวที่ได้ (ม.) จากการใช้ Joint Sealer 1 กล่อง (15 กก.)	อัตราส่วนปริมาณการใช้ งาน Joint Sealer : Joint Primer (กล่อง 15 กก. : กระป๋อง 3.5 ลิตร)
กว้าง (มม.)	ลึก (มม.)			
10	20	0.21	71.43	7 : 1
10	50	0.53	28.30	9 : 1
10	60	0.63	23.81	7 : 1
25	25	0.66	22.73	11 : 1

นอกจากนี้วัสดุยาแนวรอยต่อที่หมดอายุจะเป็นวัสดุที่ไม่มีการคั่นตัวทำให้กรวดและหินก้อนเล็ก ๆ เข้าไปอุดในช่องว่างเป็นเหตุให้เกิดรอยบิ่นตามขอบรอยต่อทำให้การขับซึ่ยวดยานไม่ราบเรียบ การควบคุมคุณภาพวัสดุยาแนวรอยต่อควรนำวัสดุยาแนวรอยต่อมาทดสอบดูก่อนแล้วสุ่มเก็บตัวอย่างทดลองเพื่อป้องกันการนำวัสดุยาแนวรอยต่อที่ไม่มีคุณภาพมาใช้

วัสดุยาแนวรอยต่อ ควรมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

- (1) มีการยืดหยุ่นตัวได้ดีตามการยืด และ ขยายตัวของคอนกรีต ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นสูงที่อุณหภูมิต่ำมาก หรือสูงมาก (Temperature Susceptibility) คือการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ค่า PI สูง ทำให้ไม่เกิดการอ่อนตัวมากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
- (2) การยึดเกาะผนังร่องคอนกรีตได้ดี คือ Cohesion แรงยึดเหนี่ยวใน Joint Sealer มีสูงมาก ส่งผลให้สามารถยึดเกาะกับคอนกรีตได้ดี
- (3) วัสดุยาแนวรอยต่อต้องไม่ไหลเยิ้มขณะแตรร้อน(Bleeding resistance) คือ Softening Point จุดอ่อนตัวของยาง Joint Sealer สูงประมาณ 88°C ซึ่งสูงกว่า AC 60 - 70 ซึ่ง อยู่ที่ 45-48 °C จึงทำให้มีโอกาสเกิดปัญหายางเยิ้มที่ผิวทางจราจรได้ยากกว่าปกติ

ข้อเสนอแนะและวิธีการจัดเก็บวัสดุยาแนวรอยต่อ

- (1) วัสดุยาแนวรอยต่ออาจลुकติดไฟได้ง่าย ถ้าให้ความร้อนสูงเกิน
- (2) ในขณะหลอมเหลววัสดุยาแนวรอยต่อ อย่าให้น้ำเข้าไปสัมผัสได้
- (3) ควรสวมหมวกนิรภัยพร้อมหน้ากากกันกระเด็น สวมเสื้อแขนยาวหรือปกแขนเพื่อป้องกัน ความร้อนให้รัดกุมและถุงมือหนัง เพื่อความปลอดภัยในการทำงานหากมีเหตุฉุกเฉิน
- (4) กรณีลुकติดไฟ ห้ามใช้น้ำดับโดยเด็ดขาด ให้ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ผง โฟม ทราาย ดับแทน
- (5) ขณะให้ความร้อนเพื่อหลอมเหลว ต้องทำการกวนตลอดเวลาขณะต้ม
- (6) ระวังอย่าให้วัสดุยาแนวรอยต่อที่หลอมเหลวมีอุณหภูมิสูงเกิน 180 องศาเซลเซียส ยางจะไหม้

3.4. แผ่นพลาสติกรองพื้นคอนกรีต (Plastic Sheet)

แผ่นพลาสติกรองพื้นคอนกรีต ที่ใช้ในการก่อสร้างต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ตามแบบเลขที่ GD - 602 มีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

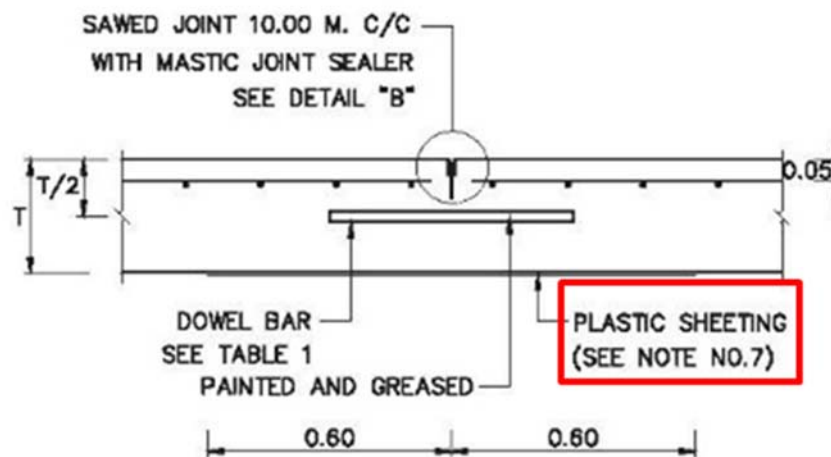
- (1) แผ่นพลาสติกต้องมีความหนา 0.07 มม. โดยมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 7%
- (2) ความกว้างของแผ่นพลาสติกต้องไม่น้อยกว่า 1.20 ม.
- (3) แผ่นพลาสติกต้องมีลักษณะโปร่งใส ไม่มีสี กันน้ำ และไม่มีรู บริเวณขอบต้องเป็นเส้นตรง บริเวณ ที่ทำการพับและบริเวณที่พองต้องสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
- (4) แผ่นพลาสติกต้องยาวต่อเนื่องตลอดความกว้างของช่องจราจรทั้งหมด ถ้าจำเป็นต้องทำการ เชื่อมต่อแผ่นพลาสติก ให้ทำบริเวณรอยต่อตามยาว โดยให้แผ่นพลาสติกที่จะทำการเชื่อมต่อวาง ซ้อนทับกันอย่างน้อย 20 ซม.



รูปที่ 91 ตัวอย่างแผ่นพลาสติกกรองพื้นคอนกรีต (Plastic Sheet)

ที่มา :

<https://piboonsinmarketing.files.wordpress.com/2010/01/e0b89ee0b8a5e0b8b2e0b8aae0b895e0b8b4e0b881.jpg>

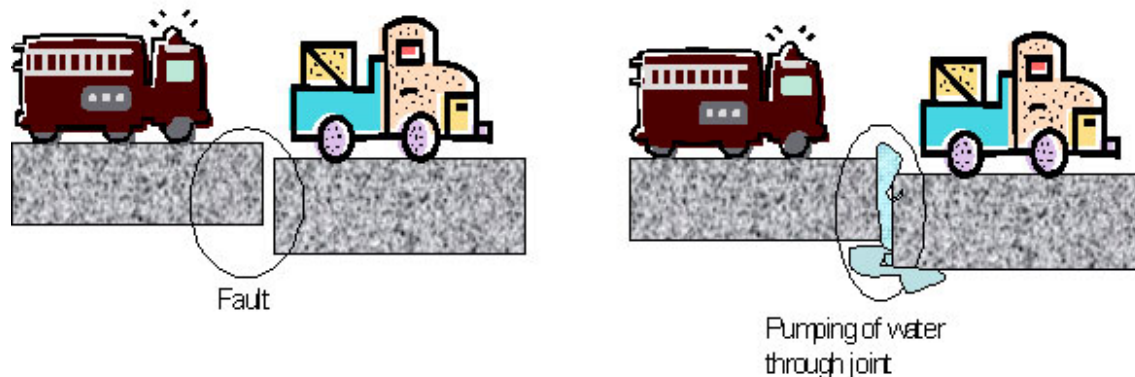


DETAIL OF CONTRACTION JOINT

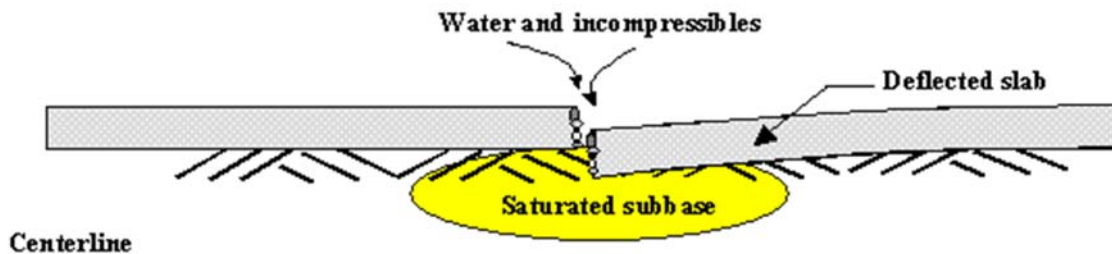
รูปที่ 92 Detail of Contraction Joint แสดงแผ่นพลาสติกกรองพื้นคอนกรีต (Plastic Sheet) จาก Standard Drawing Joint Reinforced Concrete Pavement (JRCP) DWG NO. GD-602 Sheet No. 34

4. การควบคุมคุณภาพวัสดุรองถนนคอนกรีต

การก่อสร้างชั้นรองใต้ถนนคอนกรีตด้วยทรายหรือวัสดุอื่นใดที่คุณภาพใช้ได้ และนายช่างผู้ควบคุมงานยอมให้ใช้ ทั้งนี้ เพื่อควบคุม Pumping ใต้ถนนคอนกรีต โดยจะก่อสร้างบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นทางอื่นใดที่ได้เตรียมไว้ และได้รับการตรวจสอบว่าถูกต้องแล้ว โดยการเกลี่ยแต่งและบดทับให้ถูกต้องตามแนว ระดับ ความลาด ขนาด ตลอดจนรูปตัดตามที่แสดงไว้ในแบบ



1. Typical pavement problems—faulting and pumping.



2. Deflected pavement shape.

รูปที่ 93 การเกิดการกระเพื่อมของน้ำใต้ถนนคอนกรีต (Pumping) และการเกิดรอยเลื่อน (Faulting)

ที่มา :

1. https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/06106/images/img_5.jpg
2. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/04122/images/image046.gif>

4.1. ทรายรองถนนคอนกรีต (Sand Cushion)

ทรายรองถนนคอนกรีต ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานทางที่ ทล.- ม. 211/2533 “มาตรฐานชั้นทรายรองถนนคอนกรีต” ทรายหรือวัสดุอื่นใดที่คุณภาพใช้ได้ และนายช่างผู้ควบคุมงานยอมให้ใช้ จะต้องมีความสมบัติดังต่อไปนี้

- (1) ต้องเป็นวัสดุที่มีเม็ดแข็ง ทนทาน สะอาด ปราศจากก้อนดินเหนียว (Clay Lump) หนาดิน (Top Soil) วัชพืช และสิ่งไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ จากแหล่งที่ได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว
- (2) ในกรณีที่มิได้ระบุคุณสมบัติไว้ในแบบเป็นอย่างอื่น จะต้องมีความละเอียดดี และเมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบที่ ทล.-ท. 205/2517 “วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง” ต้องมีความละเอียดที่สุดไม่เกิน 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) และมีส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 10
- (3) ต้องเป็นวัสดุจำพวก Non-Plastic



รูปที่ 94 ตัวอย่างทรายรองถนนคอนกรีต

กรณีที่เลือกใช้วัสดุอื่นใดที่คุณภาพใช้ได้ ที่ไม่ใช่ทราย เช่น หินฝุ่น เนื่องจากลักษณะของหินฝุ่นมีลักษณะเหลี่ยมต่างจากทราย ทำให้มีผลต่อความแน่น จึงไม่แนะนำให้ใช้ ทั้งนี้ ในการแก้ไข ทล.-ม. เป็นเรื่องที่ต้องใช้เวลาในการพิจารณา แต่ในเบื้องต้นจะกำหนดไว้ในแบบก่อสร้างว่า “ให้ใช้ทรายเท่านั้น”

4.2. หินคลุกรองถนนคอนกรีต หรือหินไม่มวลรวม (Crushed Rock Soil Aggregate Type)

หินคลุกรองถนนคอนกรีต ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานทางที่ ทล.- ม. 212/2533 “มาตรฐานชั้นหินคลุกรองถนนคอนกรีต” หินคลุกรองถนนคอนกรีตที่คุณภาพใช้ได้ และนายช่างผู้ควบคุมงานยอมให้ใช้ จะต้องมีความสมบัติดังต่อไปนี้

- (1) ต้องเป็นวัสดุที่มีเนื้อแข็ง เหนียว ไม่ฝุ่น สะอาด ปราศจากวัสดุอื่นเจือปน จากแหล่งที่ได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว
- (2) วัสดุจำพวก Shale ห้ามนำมาใช้

- (3) ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติไว้ในแบบเป็นอย่างอื่น เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 202/2515 “วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion” ค่าความสึกหรอ ต้องไม่เกินร้อยละ 40
- (4) มีค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 213/2531 “วิธีการทดลองหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม” โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ ต้องไม่เกินร้อยละ 12 หรือเมื่อใช้แมกนีเซียมซัลเฟตต้องไม่เกินร้อยละ 9
- (5) หินคลุกจากแหล่งเดิมที่มีหลักฐานแสดงผลการทดลองหาความคงทนว่าใช้ได้ อาจจะยกเว้นไม่ต้องทดลองอีกก็ได้ ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของจากนายช่างผู้ควบคุมงานของกรมทางหลวง ที่จะใช้ผลการทดลองเดิมที่มีอยู่
- (6) ส่วนละเอียด (Fine Aggregate) ต้องเป็นวัสดุชนิดละคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับส่วนหยาบ (Coarse Aggregate)
- (7) การใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือปนเพื่อปรับปรุงคุณภาพ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน
- (8) จะต้องมีความสะอาดที่ดี และเมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517 “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล่าง” ต้องมีขนาดใดขนาดหนึ่งตามตารางที่ 11
- (9) ส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรง ขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ต้องไม่มากกว่าสองในสาม (2/3) ของส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร (เบอร์ 40)
- (10) มีค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 102/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน” กำหนดให้ไม่เกินร้อยละ 25
- (11) มีค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 103/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit (P.L.) และ Plasticity Index (P.I.) ของดิน” กำหนดให้ไม่เกินร้อยละ 6

ตารางที่ 11 ขนาดละเอียดของวัสดุหินคลุกที่ใช้รองถนนคอนกรีต

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล		
	A	B	C
50 (2")	100	100	-
25 (1")	-	75-100	100
9.5 (3/8")	30-65	40-75	50-85
4.75 (เบอร์ 4)	25-55	30-60	35-65
2.00 (เบอร์ 10)	15-40	20-45	25-50
0.425 (เบอร์ 40)	8-20	15-30	15-30
0.075 (เบอร์ 200)	2-8	5-15	5-15

5. การควบคุมคุณภาพวัสดุที่ใช้ประกอบการบ่มคอนกรีต (CONCRETE CURING)

การบ่มคอนกรีตเป็นการควบคุมและป้องกันมิให้น้ำในคอนกรีตระเหยออกจากคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วเร็วเกินไป เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญที่สุดสำหรับปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งจะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง ดังนั้น หลังจากผิวหน้าคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จะต้องบ่มคอนกรีตให้มีความชื้นอยู่เสมอ เป็นเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมง กำลังของคอนกรีตจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ トラバเท่าที่ยังมีความชื้นให้ปูนซีเมนต์ได้ทำปฏิกิริยากับน้ำ

ข้อควรระวังในการบ่มคอนกรีต

- 1) ให้คลุมผิวพื้นคอนกรีตให้เต็มผิวหน้าด้วยวัสดุที่ใช้ประกอบการบ่มคอนกรีต
- 2) ถ้าส่วนใดหลุดออกหรือสูญหายไปในช่วงระยะเวลาที่บ่ม จะต้องรีบใส่ปิดให้ใหม่โดยทันที
- 3) ระหว่างระยะเวลาที่บ่ม ห้ามปล่อยผิวหน้าของแผ่นพื้นคอนกรีตทิ้งไว้โดยไม่มีสิ่งใดปกคลุม
- 4) ในกรณีที่ยังมีน้ำไม่เพียงพอสำหรับการบ่ม หรือมีวัสดุที่ใช้ประกอบการบ่มคอนกรีตไว้ที่หน้างานไม่เพียงพอ ก็ให้หยุดงานคอนกรีตไว้ก่อน
- 5) ในการใช้วัสดุประกอบการบ่มคอนกรีตปิดคลุมไว้ หรือการทำให้วัสดุปิดคลุมมีความเปียกชื้นติดต่อกันไป หรือการใช้วิธีซังน้ำไว้บนแผ่นพื้นคอนกรีต ต้องทำตลอดเวลา อย่างน้อย 72 ชั่วโมง
- 6) ห้ามใช้น้ำเค็มหรือน้ำกร่อยบ่มคอนกรีต

หลังจากวาดและแต่งคอนกรีตเสร็จ โดยไม่ทำให้ผิวคอนกรีตนั้นเสียหายแล้ว ให้รีบบ่มคอนกรีตด้วยวิธีการอย่างหนึ่งอย่างใด ตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร หากไม่ได้ระบุหรือขออนุญาตไว้เป็นอย่างอื่น วัสดุที่ใช้คลุมในการบ่มคอนกรีตให้เป็น ดังนี้

5.1. การบ่มด้วยน้ำ

เป็นการบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต การบ่มลักษณะนี้จะเพิ่มความชื้นให้กับผิวคอนกรีตโดยตรง เพื่อทดแทนการระเหยของน้ำออกจากคอนกรีต โดยน้ำที่จะนำมาใช้ผสมคอนกรีตต้องสะอาด ปราศจากสารต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต สำหรับน้ำที่ใช้ในบ่มคอนกรีตต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างควบคุมงาน โดยต้องสะอาด ปราศจากน้ำมัน กรด ต่าง เกลือ น้ำตาล วัชพืช หรือสารอื่นใด ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม การบ่มลักษณะนี้สามารถทำได้ตามวิธี ดังต่อไปนี้

- (1) การซังหรือหล่อ่น้ำ เป็นการทำนบกั้นน้ำไม่ให้น้ำไหลออกมักจะใช้กับงานทางระดับ เช่น พื้น หรือถนน เป็นต้น วัสดุที่ใช้ทำนบอาจจะเป็นดินเหนียว หรืออิฐก็ได้ ข้อควรระวังสำหรับวิธีนี้ คือ ต้องระวังอย่าให้ทำนบกั้นน้ำพัง และหลังจากบ่มเสร็จแล้ว อาจจะต้องทำความสะอาดผิวหน้าคอนกรีต
- (2) การฉีดน้ำหรือรดน้ำ เป็นการฉีดน้ำให้ผิวคอนกรีตเปียกอยู่เสมอวิธีนี้ใช้ได้กับงานคอนกรีต ทั้งในแนวตั้ง แนวระดับ หรือแนวเอียง ข้อควรระวัง คือต้องฉีดน้ำให้ทั่วถึงทุกส่วนของคอนกรีต และแรงดันน้ำต้องไม่แรงเกินไปจนชะเอาผิวหน้าคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวต้อออก วิธีนี้ต้องสิ้นเปลืองน้ำมาก และต้องอาศัยที่ที่มีแรงดันน้ำมากพอ

5.2. การบ่มด้วยกระสอบ โดยการคลุมด้วยกระสอบที่เปียกชื้น

การบ่มด้วยกระสอบเป็นวิธีที่ใช้กันมาก เพราะสะดวก ประหยัด และสามารถใช้ได้กับงานทั้งแนวระดับ แนวตั้ง และแนวเอียง เป็นการบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต โดยกระสอบที่ใช้ต้องทำมาจากป่านหรือปอ และในขณะที่จะนำมาใช้จะต้องอยู่ในสภาพที่ดี ไม่เปราะเปื้อนดินโคลนหรือวัสดุอื่นใด ซึ่งจะทำให้กระสอบนั้นดูดซึมน้ำไม่ดี ไม่ประกอบด้วยวัสดุที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต เมื่อจุ่มหรือราดน้ำสามารถดูดน้ำได้ดี มีคุณสมบัติตาม AASHTO M 182 : Burlap Cloth made from Jute or Kenaf หรือเทียบเท่า



รูปที่ 95 การคลุมผิวคอนกรีตด้วยกระสอบที่เปียกชื้น

ข้อควรระวังในการบ่มคอนกรีตด้วยกระสอบที่เปียกชื้น

- กระสอบที่คลุมต้องเปียกชุ่มอยู่เสมอ
- การคลุมต้องคลุมให้วัสดุคลุมเหลื่อมกัน
- วัสดุที่ใช้คลุมต้องปราศจากสารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต หรือทำให้คอนกรีตต่าง

5.3. ทราย

ทรายที่ใช้ต้องสะอาดปราศจากก้อนดินหรือสารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตอย่างอื่นปนอยู่ด้วย

5.4. สารประกอบอย่างเหลวสำหรับใช้เคลือบ (Liquid Membrane-forming Compounds)

สารประกอบอย่างเหลวสำหรับใช้เคลือบ หรือสารเหลวบ่มคอนกรีต จะต้องมีความสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “สารเหลวบ่มคอนกรีต” มาตรฐานเลขที่ มอก.841 ประเภท 2 เป็นการพ่นสารเคมีลงบนผิวคอนกรีตซึ่งสารเคมีที่พ่นนี้จะกลายเป็นเยื่อบาง ๆ คลุมผิวคอนกรีตป้องกันการระเหยออกของน้ำในคอนกรีตได้ การบ่มวิธีนี้ทั้งสะดวกและรวดเร็วแต่ค่าใช้จ่ายจะสูง จึงมักใช้กับงานที่บ่มด้วยวิธีอื่นได้ลำบาก การพ่นสารเคมีนี้ต้องกระทำในขณะที่ผิวคอนกรีตยังชื้นอยู่ และต้องพ่นให้ทั่วถึง



รูปที่ 96 การฉีดยาสารเคลือบคอนกรีตเป็นเยื่อบาง ๆ คลุมผิวคอนกรีต



รูปที่ 97 ลักษณะของสารเคลือบคอนกรีตที่พ่นเป็นเยื่อบาง ๆ คลุมผิวคอนกรีต

ข้อที่ควรทราบในการใช้สารเคลือบคอนกรีต

- สารเคมีประเภทนี้จะทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตที่จะเทใหม่เสียไป
- หากใช้สารเคมีฉีดยาแล้ว ไม่ควรฉีดน้ำซ้ำ เพราะน้ำจะไปชะล้างสารเคมีออกควรชี้แจงให้คนที่ทำงานทราบถึงประเด็นนี้ เพื่อจะได้ไม่ฉีดชะล้างสารเคมีออกโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์

ส่วนที่ 3

การควบคุมการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพ มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการและประหยัดค่าใช้จ่าย ทั้งนี้คุณสมบัติที่ได้หลังจากการออกแบบส่วนผสม จะต้องมีความสัมพันธ์กับการทำงาน เพื่อให้ได้คอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในระหว่างขั้นตอนการทำงาน เพื่อให้การทำงานเป็นไปด้วยความสะดวกเรียบร้อย ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้ยกตัวอย่างเช่น คอนกรีตสดจะมีการกำหนดความสามารถการเทได้ หรือ Slump ที่พอดีกับการทำงานในแต่ละชั้นส่วนโครงสร้าง ทำงานได้ตามกำหนดเวลาและได้กำลังอัดตามแบบก่อสร้างที่กำหนดเมื่อแข็งตัวแล้ว เป็นต้น

ก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้างถนนคอนกรีต ผู้รับจ้างจะต้องดำเนินการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้มีคุณสมบัติตามที่ระบุไว้ในแบบ ในการออกแบบต้องคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

- ความต้านทานแรงอัด (Compressive Strength) มีความสัมพันธ์กับปริมาณปูนซีเมนต์, น้ำต่อซีเมนต์ (w/c ratio), ขนาดของวัสดุ
- ความสามารถในการทำงานหรือการเท (Work ability) มีความสัมพันธ์กับ slump และสารผสมเพิ่ม
- ความต้านทานต่อการสภาวะอากาศและการใช้งาน (Durability) มีความสัมพันธ์กับคุณภาพของวัสดุ, การควบคุมงานระหว่างการก่อสร้างที่เป็นไปตามข้อกำหนด, การออกแบบและหลักการทางวิชาการ
- ความสะดวกสบายในการใช้งาน (Comfortable) มีความสัมพันธ์กับการควบคุมงานระหว่างการก่อสร้าง, แบบหล่อและวิธีการทำงาน

คอนกรีตของโครงสร้างได้กำหนดคุณสมบัติของคอนกรีตไว้ 3 ลักษณะ ได้แก่

1. ระบุค่าความต้านทานแรงอัดต่ำสุดและส่วนผสมที่แน่นอน
2. ระบุค่าความต้านทานแรงอัดต่ำสุดและใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่แน่นอน โดยคำนึงถึงชั้นส่วนโครงสร้าง ดังตารางที่ 12
3. ไม่ระบุทั้งค่าความต้านทานแรงอัดต่ำสุดและส่วนผสม แต่ให้ใช้ปริมาณปูนตามชนิดของโครงสร้าง ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชั้นคุณภาพของคอนกรีต ความต้านทานแรงอัด ชนิดของโครงสร้าง และปริมาณปูนซีเมนต์

ชั้นคุณภาพ คอนกรีต	ค่าความต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูป ลูกบาศก์ เมื่ออายุ 28 วัน (เมกะปาสคาล)	ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้น้อยที่สุด (กก./ลบ.ม.)
A	51-60	500
B	46-50	450
C	41-45	400
D	30-40	350
E	<30	300

ชนิดของ โครงสร้าง	องค์ประกอบโครงสร้าง	ค่ากำลังอัด ประลัยต่ำสุด , f_{cu} เมกะปาสคาล (กก./ซม. ²)
โครงสร้าง ส่วนบน	คานคอนกรีตอัดแรง I-GIRDER ชนิดดิ่งเหล็กที่หลัง	45 (459)
	คานคอนกรีตอัดแรง I-GIRDER และ BOX BEAM ชนิดดิ่งเหล็กก่อน	50 (510)
	คานคอนกรีตอัดแรง PLANK GIRDER ชนิดดิ่งเหล็กก่อน	50 (510)
	พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก และ DIAPHRAGM สำหรับโครงสร้าง I-GIRDER	35 (357)
	คอนกรีตเทพื้นหน้าและรอยต่อรับแรงเฉือน	40 (408)
	แผ่นพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC SLAB TYPE) รวากันชนและทางเท้า	35 (357)
โครงสร้าง ส่วนล่าง	เสาตอม่อ (PIER) และคานยึดเสา (CAP BEAM)	35 (357)
	ฐานราก	35 (357)
	ตอม่อดัดบริม (ABUTMENT) และกำแพงปีก (WING WALL)	35 (357)
	เสาเข็มเจาะแบบแห้ง	30 (306)
	เสาเข็มเจาะแบบเปียก	35 (357)
	เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ	35 (357)
	เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ	45 (459)
โครงสร้างอื่น ๆ	เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงโดยใช้แรงเหวี่ยง	60 (612)
	กำแพงกันดิน	35 (357)
	ท่อระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก	30 (306)
	ท่อระบายน้ำคอนกรีตสำเร็จรูป	40 (408)
อื่น ๆ ที่ไม่ใช่ โครงสร้าง	โครงสร้างอื่นๆ ที่ไม่ได้ระบุไว้ข้างต้น	35 (357)
	คอนกรีตหยาบ (LEAN CONCRETE)	20 (204)

การตรวจสอบการออกแบบส่วนผสม มีดังนี้

1. พิจารณาศึกษา ทบทวน ข้อกำหนด เช่น กำลังรับแรงอัดต่ำสุด ปริมาณซีเมนต์ต่ำสุดต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร ค่าความยุบตัว และ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ข้อกำหนดของกรมทางหลวง กำลังรับแรงอัดที่ใช้ในการออกแบบต้องสูงกว่าค่ากำลังรับแรงอัดที่กำหนดในแบบ โดยใช้สมการดังนี้

$$f_{cr} = f_c' + ks$$

โดยที่

f_{cr}	คือ	กำลังรับแรงอัดเป้าหมายที่ต้องการ หรือ รับแรงอัดที่ใช้ในการออกแบบ
f_c'	คือ	กำลังรับแรงอัดที่กำหนดในแบบ
k	คือ	ค่าคงที่
s	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังรับแรงอัดจากก้อนตัวอย่าง 30 ค่าหรือมากกว่า

ค่า k ได้มาจากหลักวิชาสถิติในเรื่องเกี่ยวกับการแจกแจงความถี่ตามตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงค่า k ที่ได้จากการแจกแจงความถี่

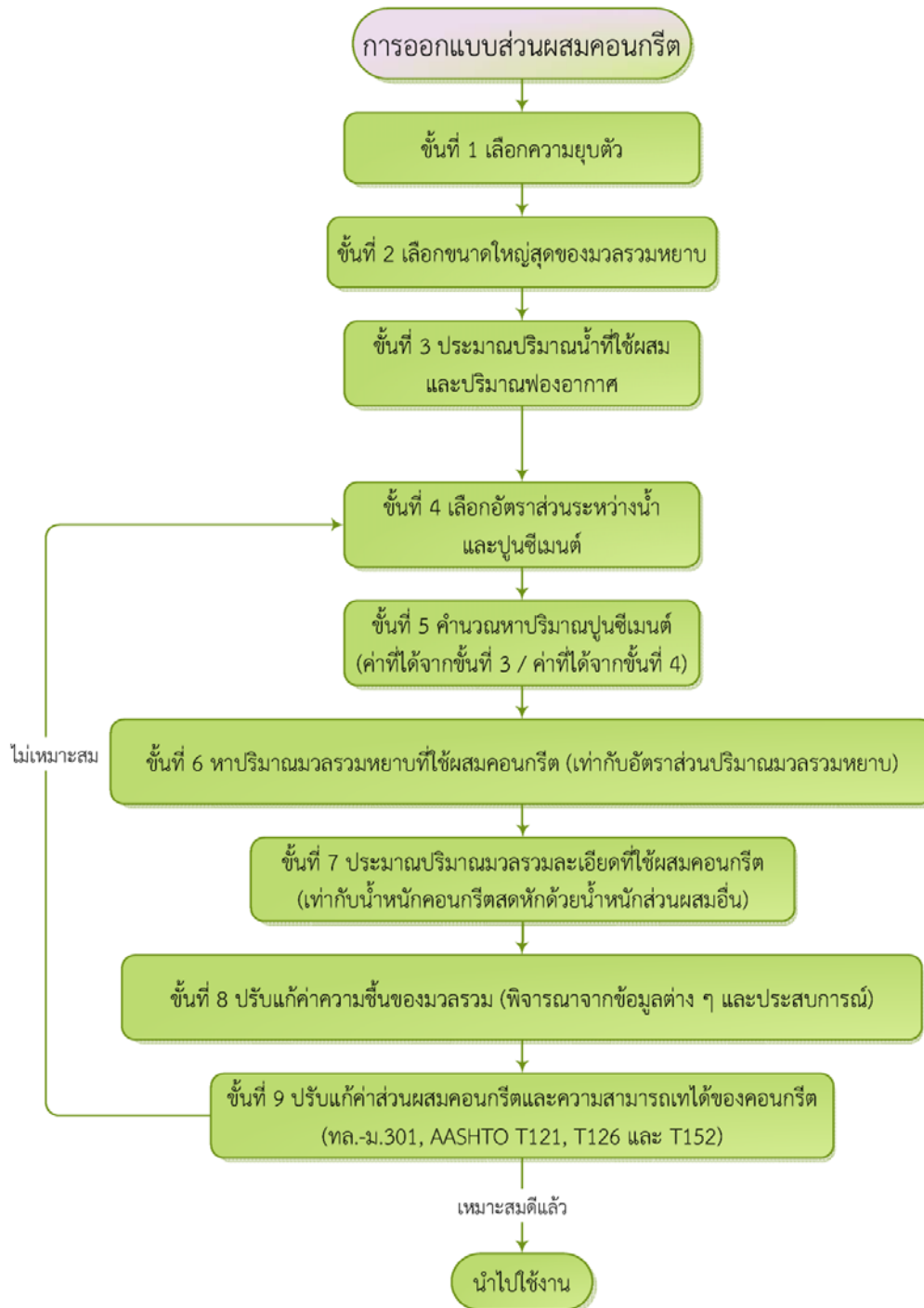
ค่าร้อยละของกำลังที่ต่ำกว่า f_c'	ค่า k
20	0.842
10	1.282
5	1.645
2.5	1.960
2	2.054
1	2.326
0	3.000

ตามมาตรฐานทั่วไปจะต้องออกแบบให้โอกาสที่ กำลังอัดเฉลี่ยต่ำกว่ากำลังอัดที่ออกแบบไม่เกิน 5% ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเก่าของส่วนผสมคอนกรีต แนะนำให้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเพื่อให้มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าค่าความต้านทานแรงอัดที่กำหนดไม่น้อยกว่า 5 เมกะปาสกาล เช่น แบบกำหนดแรงอัด 325 กก./ซม.²

2. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

การออกแบบต่อไปนี้เป็นขั้นตอนแนะนำเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต โดยใช้คอนกรีตน้ำหนักปกติ (Normal Weight Concrete) เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา ซึ่งในการออกแบบจะต้องทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการผสม เช่น ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity), ขนาดคละ (Gradation), การดูดซึมน้ำ (Absorbtion), ปริมาณความชื้น (Water Content), โมดูลัสความละเอียดของทราย (Fineness

Modulus), หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ (Unit Weight) และความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ (Specific Gravity of Cement) เป็นต้น โดยที่ขั้นตอนการออกแบบเป็นไปตามแผนภูมิการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต และตัวอย่างการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแสดงไว้ในภาคผนวก



รูปที่ 98 แผนภูมิการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

กรณีใช้คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงนั้น อนุญาตให้ใช้คอนกรีตผสมเสร็จที่ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จ มาตรฐานเลขที่ มอก. 213 ให้นำมาใช้ได้ โดยเลือกชั้นคุณภาพคอนกรีตผสมเสร็จ ที่มีค่าความต้านทานแรงอัดที่อายุ 28 วัน ของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ที่มากกว่าหรือเท่ากับค่าความต้านทานต่ำสุดที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง โดยที่ชั้นคุณภาพคอนกรีตตามมาตรฐานกรมทางหลวงเทียบกับชั้นคุณภาพคอนกรีตผสมเสร็จเป็นไปดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบชั้นคุณภาพของคอนกรีตตามมาตรฐานกรมทางหลวงกับชั้นคุณภาพคอนกรีตผสมเสร็จ (มอก.213)

ชั้นคุณภาพของคอนกรีตตามมาตรฐานกรมทางหลวง	ชั้นคุณภาพคอนกรีตผสมเสร็จ (มอก.213)
A พิเศษ	c 40/35
A	c 30/25
B	c 25/20
C	c 20/15

หลังจากที่ได้ตรวจสอบชั้นคุณภาพเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้ควบคุมงานจะได้รับไปนำเสนอส่วนผสมคอนกรีตที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน (กรณีมีการใช้โรงผลิตโรงเดียวสำหรับผลิตหลายชั้นส่วนหรือโครงสร้าง) ดังรูป

CONCRETE MIXED DESIGN (ชนิดจุ่มส่วนผสมคอนกรีต)

Customer (ลูกค้า): หจก.นครราชสีมา

Project (โครงการ): ทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 ตำบลทุ่งขาม - บ้านจารย์ อ.วังน้ำเขียว - อ.เขาใหญ่ จ.นครราชสีมา

Site Location (สถานที่): บ้านจารย์ อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา

Date (วันที่): 04/2559

Rev (แก้ไข): 133/2559

No.	Spec Comp Strength, MPa		Compressive Strength		Slump (cm.)	Cement Code	Proportion Concrete Mix (kg/m ³)									
	Cube 15x15x15 (kgf/cm ²)	Cylinder 15x30 (kgf/cm ²)	Cement	Water			PSA	Water	Sand	Rock	Admixtures A & D	Water	PSA			
NORMAL CONCRETE (Compressive Strength at 28 day)																
1	-	-	210	190	7.5 ± 2.5	CN21NR100350	350	350	350	0	150	850	1192	1250	0.43	0.56
2	30	25	305	255	7.5 ± 2.5	CN30NR100350	350	350	350	0	150	850	1192	1250	0.43	0.56
3	40	35	400	350	7.5 ± 2.5	CN40NR100400	400	400	400	0	150	750	1135	1135	0.36	0.42
4	50	45	500	450	7.5 ± 2.5	CN50NR100500	500	500	500	0	150	744	1074	1074	0.28	0.42
5	-	-	350	300	3.0 ± 7.0	CN35NR100350	350	350	350	0	140	850	1138	1138	0.40	0.44
BORED PILE CONCRETE (Compressive Strength at 28 day)																
6	30	25	305	255	12.5 ± 2.5	CB10I305R1100	300	300	300	0	165	800	1117	1190	0.45	0.40
7	30	25	305	255	17.5 ± 2.5	CB10I305R1100	300	300	300	0	160	804	1160	1190	0.40	0.38

Concrete (ปูนซีเมนต์): Portland Cement Type I B.S. 15-25 (หรือเทียบเท่า) ผลิตโดย บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) 15/2554/2557

Sand (ทราย): River Sand ASTM C-33 (หรือเทียบเท่า) ผลิตโดย บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) 15/2554/2557

Rock (หิน): Rock ASTM C-33 (หรือเทียบเท่า) ผลิตโดย บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) 15/2554/2557

Admixtures (สารผสม): Water Reducing Admixture (หรือเทียบเท่า) ผลิตโดย บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) 15/2554/2557

ออกแบบโดย: วิศวกร 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10, 1/11, 1/12, 1/13, 1/14, 1/15, 1/16, 1/17, 1/18, 1/19, 1/20, 1/21, 1/22, 1/23, 1/24, 1/25, 1/26, 1/27, 1/28, 1/29, 1/30, 1/31, 1/32, 1/33, 1/34, 1/35, 1/36, 1/37, 1/38, 1/39, 1/40, 1/41, 1/42, 1/43, 1/44, 1/45, 1/46, 1/47, 1/48, 1/49, 1/50, 1/51, 1/52, 1/53, 1/54, 1/55, 1/56, 1/57, 1/58, 1/59, 1/60, 1/61, 1/62, 1/63, 1/64, 1/65, 1/66, 1/67, 1/68, 1/69, 1/70, 1/71, 1/72, 1/73, 1/74, 1/75, 1/76, 1/77, 1/78, 1/79, 1/80, 1/81, 1/82, 1/83, 1/84, 1/85, 1/86, 1/87, 1/88, 1/89, 1/90, 1/91, 1/92, 1/93, 1/94, 1/95, 1/96, 1/97, 1/98, 1/99, 1/100, 1/101, 1/102, 1/103, 1/104, 1/105, 1/106, 1/107, 1/108, 1/109, 1/110, 1/111, 1/112, 1/113, 1/114, 1/115, 1/116, 1/117, 1/118, 1/119, 1/120, 1/121, 1/122, 1/123, 1/124, 1/125, 1/126, 1/127, 1/128, 1/129, 1/130, 1/131, 1/132, 1/133, 1/134, 1/135, 1/136, 1/137, 1/138, 1/139, 1/140, 1/141, 1/142, 1/143, 1/144, 1/145, 1/146, 1/147, 1/148, 1/149, 1/150, 1/151, 1/152, 1/153, 1/154, 1/155, 1/156, 1/157, 1/158, 1/159, 1/160, 1/161, 1/162, 1/163, 1/164, 1/165, 1/166, 1/167, 1/168, 1/169, 1/170, 1/171, 1/172, 1/173, 1/174, 1/175, 1/176, 1/177, 1/178, 1/179, 1/180, 1/181, 1/182, 1/183, 1/184, 1/185, 1/186, 1/187, 1/188, 1/189, 1/190, 1/191, 1/192, 1/193, 1/194, 1/195, 1/196, 1/197, 1/198, 1/199, 1/200, 1/201, 1/202, 1/203, 1/204, 1/205, 1/206, 1/207, 1/208, 1/209, 1/210, 1/211, 1/212, 1/213, 1/214, 1/215, 1/216, 1/217, 1/218, 1/219, 1/220, 1/221, 1/222, 1/223, 1/224, 1/225, 1/226, 1/227, 1/228, 1/229, 1/230, 1/231, 1/232, 1/233, 1/234, 1/235, 1/236, 1/237, 1/238, 1/239, 1/240, 1/241, 1/242, 1/243, 1/244, 1/245, 1/246, 1/247, 1/248, 1/249, 1/250, 1/251, 1/252, 1/253, 1/254, 1/255, 1/256, 1/257, 1/258, 1/259, 1/260, 1/261, 1/262, 1/263, 1/264, 1/265, 1/266, 1/267, 1/268, 1/269, 1/270, 1/271, 1/272, 1/273, 1/274, 1/275, 1/276, 1/277, 1/278, 1/279, 1/280, 1/281, 1/282, 1/283, 1/284, 1/285, 1/286, 1/287, 1/288, 1/289, 1/290, 1/291, 1/292, 1/293, 1/294, 1/295, 1/296, 1/297, 1/298, 1/299, 1/300, 1/301, 1/302, 1/303, 1/304, 1/305, 1/306, 1/307, 1/308, 1/309, 1/310, 1/311, 1/312, 1/313, 1/314, 1/315, 1/316, 1/317, 1/318, 1/319, 1/320, 1/321, 1/322, 1/323, 1/324, 1/325, 1/326, 1/327, 1/328, 1/329, 1/330, 1/331, 1/332, 1/333, 1/334, 1/335, 1/336, 1/337, 1/338, 1/339, 1/340, 1/341, 1/342, 1/343, 1/344, 1/345, 1/346, 1/347, 1/348, 1/349, 1/350, 1/351, 1/352, 1/353, 1/354, 1/355, 1/356, 1/357, 1/358, 1/359, 1/360, 1/361, 1/362, 1/363, 1/364, 1/365, 1/366, 1/367, 1/368, 1/369, 1/370, 1/371, 1/372, 1/373, 1/374, 1/375, 1/376, 1/377, 1/378, 1/379, 1/380, 1/381, 1/382, 1/383, 1/384, 1/385, 1/386, 1/387, 1/388, 1/389, 1/390, 1/391, 1/392, 1/393, 1/394, 1/395, 1/396, 1/397, 1/398, 1/399, 1/400, 1/401, 1/402, 1/403, 1/404, 1/405, 1/406, 1/407, 1/408, 1/409, 1/410, 1/411, 1/412, 1/413, 1/414, 1/415, 1/416, 1/417, 1/418, 1/419, 1/420, 1/421, 1/422, 1/423, 1/424, 1/425, 1/426, 1/427, 1/428, 1/429, 1/430, 1/431, 1/432, 1/433, 1/434, 1/435, 1/436, 1/437, 1/438, 1/439, 1/440, 1/441, 1/442, 1/443, 1/444, 1/445, 1/446, 1/447, 1/448, 1/449, 1/450, 1/451, 1/452, 1/453, 1/454, 1/455, 1/456, 1/457, 1/458, 1/459, 1/460, 1/461, 1/462, 1/463, 1/464, 1/465, 1/466, 1/467, 1/468, 1/469, 1/470, 1/471, 1/472, 1/473, 1/474, 1/475, 1/476, 1/477, 1/478, 1/479, 1/480, 1/481, 1/482, 1/483, 1/484, 1/485, 1/486, 1/487, 1/488, 1/489, 1/490, 1/491, 1/492, 1/493, 1/494, 1/495, 1/496, 1/497, 1/498, 1/499, 1/500, 1/501, 1/502, 1/503, 1/504, 1/505, 1/506, 1/507, 1/508, 1/509, 1/510, 1/511, 1/512, 1/513, 1/514, 1/515, 1/516, 1/517, 1/518, 1/519, 1/520, 1/521, 1/522, 1/523, 1/524, 1/525, 1/526, 1/527, 1/528, 1/529, 1/530, 1/531, 1/532, 1/533, 1/534, 1/535, 1/536, 1/537, 1/538, 1/539, 1/540, 1/541, 1/542, 1/543, 1/544, 1/545, 1/546, 1/547, 1/548, 1/549, 1/550, 1/551, 1/552, 1/553, 1/554, 1/555, 1/556, 1/557, 1/558, 1/559, 1/560, 1/561, 1/562, 1/563, 1/564, 1/565, 1/566, 1/567, 1/568, 1/569, 1/570, 1/571, 1/572, 1/573, 1/574, 1/575, 1/576, 1/577, 1/578, 1/579, 1/580, 1/581, 1/582, 1/583, 1/584, 1/585, 1/586, 1/587, 1/588, 1/589, 1/590, 1/591, 1/592, 1/593, 1/594, 1/595, 1/596, 1/597, 1/598, 1/599, 1/600, 1/601, 1/602, 1/603, 1/604, 1/605, 1/606, 1/607, 1/608, 1/609, 1/610, 1/611, 1/612, 1/613, 1/614, 1/615, 1/616, 1/617, 1/618, 1/619, 1/620, 1/621, 1/622, 1/623, 1/624, 1/625, 1/626, 1/627, 1/628, 1/629, 1/630, 1/631, 1/632, 1/633, 1/634, 1/635, 1/636, 1/637, 1/638, 1/639, 1/640, 1/641, 1/642, 1/643, 1/644, 1/645, 1/646, 1/647, 1/648, 1/649, 1/650, 1/651, 1/652, 1/653, 1/654, 1/655, 1/656, 1/657, 1/658, 1/659, 1/660, 1/661, 1/662, 1/663, 1/664, 1/665, 1/666, 1/667, 1/668, 1/669, 1/670, 1/671, 1/672, 1/673, 1/674, 1/675, 1/676, 1/677, 1/678, 1/679, 1/680, 1/681, 1/682, 1/683, 1/684, 1/685, 1/686, 1/687, 1/688, 1/689, 1/690, 1/691, 1/692, 1/693, 1/694, 1/695, 1/696, 1/697, 1/698, 1/699, 1/700, 1/701, 1/702, 1/703, 1/704, 1/705, 1/706, 1/707, 1/708, 1/709, 1/710, 1/711, 1/712, 1/713, 1/714, 1/715, 1/716, 1/717, 1/718, 1/719, 1/720, 1/721, 1/722, 1/723, 1/724, 1/725, 1/726, 1/727, 1/728, 1/729, 1/730, 1/731, 1/732, 1/733, 1/734, 1/735, 1/736, 1/737, 1/738, 1/739, 1/740, 1/741, 1/742, 1/743, 1/744, 1/745, 1/746, 1/747, 1/748, 1/749, 1/750, 1/751, 1/752, 1/753, 1/754, 1/755, 1/756, 1/757, 1/758, 1/759, 1/760, 1/761, 1/762, 1/763, 1/764, 1/765, 1/766, 1/767, 1/768, 1/769, 1/770, 1/771, 1/772, 1/773, 1/774, 1/775, 1/776, 1/777, 1/778, 1/779, 1/780, 1/781, 1/782, 1/783, 1/784, 1/785, 1/786, 1/787, 1/788, 1/789, 1/790, 1/791, 1/792, 1/793, 1/794, 1/795, 1/796, 1/797, 1/798, 1/799, 1/800, 1/801, 1/802, 1/803, 1/804, 1/805, 1/806, 1/807, 1/808, 1/809, 1/810, 1/811, 1/812, 1/813, 1/814, 1/815, 1/816, 1/817, 1/818, 1/819, 1/820, 1/821, 1/822, 1/823, 1/824, 1/825, 1/826, 1/827, 1/828, 1/829, 1/830, 1/831, 1/832, 1/833, 1/834, 1/835, 1/836, 1/837, 1/838, 1/839, 1/840, 1/841, 1/842, 1/843, 1/844, 1/845, 1/846, 1/847, 1/848, 1/849, 1/850, 1/851, 1/852, 1/853, 1/854, 1/855, 1/856, 1/857, 1/858, 1/859, 1/860, 1/861, 1/862, 1/863, 1/864, 1/865, 1/866, 1/867, 1/868, 1/869, 1/870, 1/871, 1/872, 1/873, 1/874, 1/875, 1/876, 1/877, 1/878, 1/879, 1/880, 1/881, 1/882, 1/883, 1/884, 1/885, 1/886, 1/887, 1/888, 1/889, 1/890, 1/891, 1/892, 1/893, 1/894, 1/895, 1/896, 1/897, 1/898, 1/899, 1/900, 1/901, 1/902, 1/903, 1/904, 1/905, 1/906, 1/907, 1/908, 1/909, 1/910, 1/911, 1/912, 1/913, 1/914, 1/915, 1/916, 1/917, 1/918, 1/919, 1/920, 1/921, 1/922, 1/923, 1/924, 1/925, 1/926, 1/927, 1/928, 1/929, 1/930, 1/931, 1/932, 1/933, 1/934, 1/935, 1/936, 1/937, 1/938, 1/939, 1/940, 1/941, 1/942, 1/943, 1/944, 1/945, 1/946, 1/947, 1/948, 1/949, 1/950, 1/951, 1/952, 1/953, 1/954, 1/955, 1/956, 1/957, 1/958, 1/959, 1/960, 1/961, 1/962, 1/963, 1/964, 1/965, 1/966, 1/967, 1/968, 1/969, 1/970, 1/971, 1/972, 1/973, 1/974, 1/975, 1/976, 1/977, 1/978, 1/979, 1/980, 1/981, 1/982, 1/983, 1/984, 1/985, 1/986, 1/987, 1/988, 1/989, 1/990, 1/991, 1/992, 1/993, 1/994, 1/995, 1/996, 1/997, 1/998, 1/999, 1/1000, 1/1001, 1/1002, 1/1003, 1/1004, 1/1005, 1/1006, 1/1007, 1/1008, 1/1009, 1/1010, 1/1011, 1/1012, 1/1013, 1/1014, 1/1015, 1/1016, 1/1017, 1/1018, 1/1019, 1/1020, 1/1021, 1/1022, 1/1023, 1/1024, 1/1025, 1/1026, 1/1027, 1/1028, 1/1029, 1/1030, 1/1031, 1/1032, 1/1033, 1/1034, 1/1035, 1/1036, 1/1037, 1/1038, 1/1039, 1/1040, 1/1041, 1/1042, 1/1043, 1/1044, 1/1045, 1/1046, 1/1047, 1/1048, 1/1049, 1/1050, 1/1051, 1/1052, 1/1053, 1/1054, 1/1055, 1/1056, 1/1057, 1/1058, 1/1059, 1/1060, 1/1061, 1/1062, 1/1063, 1/1064, 1/1065, 1/1066, 1/1067, 1/1068, 1/1069, 1/1070, 1/1071, 1/1072, 1/1073, 1/1074, 1/1075, 1/1076, 1/1077, 1/1078, 1/1079, 1/1080, 1/1081, 1/1082, 1/1083, 1/1084, 1/1085, 1/1086, 1/1087, 1/1088, 1/1089, 1/1090, 1/1091, 1/1092, 1/1093, 1/1094, 1/1095, 1/1096, 1/1097, 1/1098, 1/1099, 1/1100, 1/1101, 1/1102, 1/1103, 1/1104, 1/1105, 1/1106, 1/1107, 1/1108, 1/1109, 1/1110, 1/1111, 1/1112, 1/1113, 1/1114, 1/1115, 1/1116, 1/1117, 1/1118, 1/1119, 1/1120, 1/1121, 1/1122, 1/1123, 1/1124, 1/1125, 1/1126, 1/1127, 1/1128, 1/1129, 1/1130, 1/1131, 1/1132, 1/1133, 1/1134, 1/1135, 1/1136, 1/1137, 1/1138, 1/1139, 1/1140, 1/1141, 1/1142, 1/1143, 1/1144, 1/1145, 1/1146, 1/1147, 1/1148, 1/1149, 1/1150, 1/1151, 1/1152, 1/1153, 1/1154, 1/1155, 1/1156, 1/1157, 1/1158, 1/1159, 1/1160, 1/1161, 1/1162, 1/1163, 1/1164, 1/1165, 1/1166, 1/1167, 1/1168, 1/1169, 1/1170, 1/1171, 1/1172, 1/1173, 1/1174, 1/1175, 1/1176, 1/1177, 1/1178, 1/1179, 1/1180, 1/1181, 1/1182, 1/1183, 1/1184, 1/1185, 1/1186, 1/1187, 1/1188, 1/1189, 1/1190, 1/1191, 1/1192, 1/1193, 1/1194, 1/1195, 1/1196, 1/1197, 1/1198, 1/1199, 1/1200, 1/1201, 1/1202, 1/1203, 1/1204, 1/1205, 1/1206, 1/1207, 1/1208, 1/1209, 1/1210, 1/1211, 1/1212, 1/1213, 1/1214, 1/1215, 1/1216, 1/1217, 1/1218, 1/1219, 1/1220, 1/1221, 1/1222, 1/1223, 1/1224, 1/1225, 1/1226, 1/1227, 1/1228, 1/1229, 1/1230, 1/1231, 1/1232, 1/1233, 1/1234, 1/1235, 1/1236, 1/1237, 1/1238, 1/1239, 1/1240, 1/1241, 1/1242, 1/1243, 1/1244, 1/1245, 1/1246, 1/1247, 1/1248, 1/1249, 1/1250, 1/1251, 1/1252, 1/1253, 1/1254, 1/1255, 1/1256, 1/1257, 1/1258, 1/1259, 1/1260, 1/1261, 1/1262, 1/1263, 1/1264, 1/1265, 1/1266, 1/1267, 1/1268, 1/1269, 1/1270, 1/1271, 1/1272, 1/1273, 1/1274, 1/1275, 1/1276, 1/1277, 1/1278, 1/1279, 1/1280, 1/1281, 1/1282, 1/1283, 1/1284, 1/1285, 1/1286, 1/1287, 1/1288, 1/1289, 1/1290, 1/1291, 1/1292, 1/1293, 1/1294, 1/1295, 1/1296, 1/1297, 1/1298, 1/1299, 1/1300, 1/1301, 1/1302, 1/1303, 1/1304, 1/1305, 1/1306, 1/1307, 1/1308, 1/1309, 1/1310, 1/1311, 1/1312, 1/1313, 1/1314, 1/1315, 1/1316, 1/1317, 1/1318, 1/1319, 1/1320, 1/1321, 1/1322, 1/1323, 1/1324, 1/1325, 1/1326, 1/1327, 1/1328, 1/1329, 1/1330, 1/1331, 1/1332, 1/1333, 1/1334, 1/1335, 1/1336, 1/1337, 1/1338, 1/1339, 1/1340, 1/1341, 1/1342, 1/1343, 1/1344, 1/1345, 1/1346, 1/1347, 1/1348, 1/1349, 1/1350, 1/1351, 1/1352, 1/1353, 1/1354, 1/1355, 1/1356, 1/1357, 1/1358, 1/1359, 1/1360, 1/1361, 1/1362, 1/1363, 1/1364, 1/1365, 1/1366, 1/1367, 1/1368, 1/1369, 1/1370, 1/1371

CONCRETE MIXED DESIGN (อัตราส่วนผสม)

Class Of concrete	Ready Mixed concrete	CN35YR100350
Costomer (ลูกค้า)	หจก.นาก่อสร้าง	No 5/133/2559
Project (โครงการ)	ทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 สายกรุงเทพฯ - บ้านฉาง	
	ช่วง พัทยา - มาบตาพุด ตอน 12	
Date(วันที่)	8/4/2559	
Site Location(สถานที่ตั้ง)	บ้านอำเภอ ต.นาจอมเทียน อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี	
Required At 28 Days (กำลังอัดที่ 28 วัน)	350 ksc.By Cube.	300 ksc.By Cylinder

SPECIFICATION OF DESIGN

Required Slump (ค่ายุบตัว)	=	3.0 - 7.0 cm.
Max Size Aggregate (ขนาดใหญสุดของวัสดุผสม)	=	20 mm.
Water Cement Ratio(อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์)	=	0.40
Specific Gravity of Cement (ถ.พ. ของซีเมนต์)	=	3.15
Specific Gravity of Fine (SSD) ถ.พ. ของทราย)	=	2.63
Specific Gravity of Stone (SSD)(ถ.พ. ของหิน)	=	2.75
Water Content (อัตราส่วนของน้ำ)	=	140
Sand / Total Aggregate Ratio(S/A)(อัตราส่วนของทรายต่อวัสดุผสม)	=	0.44
Air Content % (ปริมาณอากาศ)	=	1

COMPUTE IN 1 CUBIC METER OF CONCRETE

Total Binders Content (ปริมาณวัสดุประสานรวม)	0%	PFA	350.00 kg.
Cement Content (ปริมาณปูนซีเมนต์)	350.00	/	3150 = 0.111 cu.m.
Water (น้ำ)	140	/	1000 = 0.140 cu.m.
Air (อากาศ)	1	/	100 = 0.010 cu.m.
Sand (ทราย)	0.739	x	0.44 = 0.325 cu.m.
Stone 20 mm (หิน)	0.739	x	0.56 = 0.414 cu.m.
Sum Total Volume (รวมปริมาตรต่อคิว)			= 1.000 cu.m.

CHANGE TO THE WEIGHT

Cement(ปูนซีเมนต์)	0.111	x	3,150	=	350 Kg./cu.m
Water (น้ำ)	0.140	x	1,000	=	140 Kg./cu.m
Sand (ทราย)	0.325	x	2,630	=	855 Kg./cu.m
Stone 20 mm (หิน)	0.414	x	2,750	=	1,138 Kg./cu.m
Admixture Type A&D.	500 ml / 100 kg. of Cement			=	1,750 cc./cu.m.
Total Weight (น้ำหนักรวม)				=	2,483 Kg./cu.m

Issued by



Krittapas Sakulnok No. ภัย 47795

รูปที่ 100 ตัวอย่างรายละเอียดอัตราส่วนผสมคอนกรีตแยกเป็นแต่ละอัตราส่วนผสม

สิ่งที่ต้องตรวจสอบเพื่อให้ได้ส่วนผสมเป็นไปตามข้อกำหนด เมื่อได้รับรายการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต แยกเป็นรายส่วนผสม ได้แก่

- 1) กำลังการรับแรงอัดออกแบบที่อายุ 28 วัน เป็นรูปทรงลูกบาศก์ (Cube) หรือ รูปทรงกระบอก (Cylinder)
 - 2) ค่าการยุบตัว (Slump)
 - 3) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water/Cement Ratio)
 - 4) ความถ่วงจำเพาะปูนซีเมนต์, ทรายและหิน
 - 5) ปริมาณปูนซีเมนต์
 - 6) ชิ้นส่วนของโครงสร้างในแต่ละอัตราส่วนต้องแยกตามรหัสสินค้าของผู้ผลิต เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบและติดตามตัวอย่างเพื่อทดลองกำลังการรับแรงอัดภายหลังอายุครบ 28 วัน
3. หลังจากตรวจสอบรายการข้างต้นแล้วจึงทดลองผสมและตรวจสอบผลที่ได้เพื่ออนุมัติการใช้งาน เมื่อเห็นชอบในรายการคำนวณและผลการทดสอบวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีตแล้ว ผู้รับจ้างจะต้องทำการทดลองผสมคอนกรีตเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ความสามารถเทได้ กำลังรับแรงอัด Modulus of Rupture เพื่อตรวจสอบว่าคอนกรีตดังกล่าวมีความเหมาะสม



รูปที่ 101 การทดลองผสมคอนกรีตตามรายการคำนวณ (Trial Mixed)

ส่วนที่ 4

การควบคุมโรงผสมคอนกรีต

การควบคุมโรงผสมคอนกรีตเป็นขั้นตอนที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีส่วนผสมตามที่ออกแบบส่วนผสมไว้ ถ้าการออกแบบส่วนผสม แต่ในโรงผสมไม่สามารถผสมได้ตามที่ออกแบบก็จะทำให้ได้คอนกรีตคุณภาพไม่ดี ขั้นตอนในการควบคุมโรงผสมคอนกรีตมีดังนี้

1. การกองวัสดุผสมคอนกรีต จะต้องป้องกันมิให้วัสดุอื่นมาปะปน วัสดุต่างชนิดต่างแหล่งและขนาด ห้ามนำมาผสมกันหรือกองรวมเป็นกองเดียว หรือใช้ร่วมกันในงานก่อสร้างที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยไม่ได้รับอนุญาตจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน ถ้าวัสดุนั้นเกิดการแยกตัวก็ให้คลุกเคล้าให้เข้ากันใหม่ และถ้าไม่สะอาดให้ล้างก่อนนำไปใช้งาน บริเวณที่เตรียมไว้กองวัสดุ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน วัสดุไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ เช่น ต้นไม้ ไม้ผุ ขยะ วัชพืช จะต้องกำจัดออกไปให้พ้นบริเวณ



รูปที่ 102 ตัวอย่างการกองวัสดุ

2. สุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุจากโรงงานผสมคอนกรีต นำมาตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐาน เช่น หิน, ทราย สกปรกหรือไม่ และต้องมีขนาดละเอียด ตรวจสอบถึงบรรจุซีเมนต์มีเก็ลลอยหรือไม่ ถ้ายังใดบรรจุเก็ลลอย ห้าม Load ซีเมนต์ยูนั้้นเข้าห้องผสม การสุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุ ควรสุ่มเก็บตัวอย่างจากส่วนต่างๆ ของกองวัสดุ แล้วนำมาผสมกันให้ได้ปริมาณตามที่กำหนดที่ใช้ในการทดสอบ ความถี่ในการสุ่มเก็บตัวอย่างอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง หรือเมื่อสงสัยว่าคุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนแปลงไปจากการสุ่มเก็บตัวอย่างครั้งก่อนหน้านี้ ถ้าผลการทดสอบคุณภาพวัสดุจากกอง ไม่ได้ตามข้อกำหนดไม่ว่ากรณีใดก็ตาม จะต้องเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงแก้ไขจนได้คุณภาพถูกต้อง ทั้งนี้เป็นไปตามดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน



รูปที่ 103 การสุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุจากโรงงานผสมคอนกรีต

3. การตรวจสอบโรงงานผสมคอนกรีต

1) การตรวจสอบอุปกรณ์ของโรงงานผสมคอนกรีต

- ยูนิตใส่วัสดุ (Bin) ต้องมีความแข็งแรง สามารถกักเก็บวัสดุแต่ละชนิดไม่ปะปนกัน พื้นล่างของยูนิตใส่วัสดุควรเทคอนกรีต หรือลงวัสดุปรับรองพื้น เพื่อไม่ให้วัสดุพื้นดินเดิมมาปะปนขณะทำการลากวัสดุขึ้นยูนิต



รูปที่ 104 ยูนิตใส่วัสดุ

- ช่องปล่อยวัสดุจากยูนิตและถังน้ำหนัก จะต้องสามารถบังคับเปิดให้ได้จำนวนวัสดุที่ปล่อยลงถังน้ำหนักได้แน่นอนและสามารถปิดได้สนิทเมื่อได้ปริมาณวัสดุที่ต้องการ ถังน้ำหนักต้องสามารถปล่อยวัสดุออกจากถังเข้าเครื่องผสมได้หมดขณะทำงาน



รูปที่ 105 ช่องปล่อยวัสดุจากถัง

- เครื่องผสม (Mixer) ต้องมีเครื่องตั้งเวลาผสมและทำการปรับตั้งเวลาในการผสมให้เหมาะสม ตรวจสอบใบมีดหลังผสมต้องมีความสึกหรอไม่เกิน 10%



รูปที่ 106 ลักษณะของห้องผสม

2) ตรวจสอบเครื่องชั่งน้ำหนัก

- ทำการตรวจสอบเครื่องชั่งน้ำหนักวัสดุรวมรวม (หินและทราย) โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน จะต้องมีความละเอียดผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักที่ชั่ง



รูปที่ 107 การตรวจสอบเครื่องชั่งน้ำหนักวัสดุรวมรวม

- ทำการตรวจสอบเครื่องชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์ โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน จะต้องมีความละเอียดผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเช่นกัน และทำการตรวจสอบการปล่อยปูนซีเมนต์จากถังชั่ง จะต้องปล่อยให้หมดทุกครั้ง โดยเครื่อง Vibrate ของถังชั่งปูนซีเมนต์ จะต้องทำงานขณะปล่อยปูนซีเมนต์



รูปที่ 108 การตรวจสอบเครื่องชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์

- ทำการตรวจสอบมาตรวัดปริมาณน้ำที่จะใช้ผสมคอนกรีตให้ได้ปริมาตรถูกต้องโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน จะต้องมีความละเอียดผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเช่นกัน



รูปที่ 109 การตรวจสอบเครื่องชั่งน้ำหนักน้ำ

- มาตรวัดปริมาณสารผสมเพิ่ม (Admixture) ทำการตรวจสอบมาตรวัดปริมาณสารผสมเพิ่มที่จะใช้ผสมคอนกรีต



รูปที่ 110 การตรวจสอบมาตรฐานวัดปริมาณสารผสมเพิ่ม (Admixture)

4. การควบคุมการผสม

- ปรับสัดส่วนการผสมเนื่องจากความชื้นของวัสดุผสม วัสดุโดยทั่วไปในการออกแบบคอนกรีตจะใช้น้ำหนักวัสดุที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ซึ่งวัสดุที่ใช้ผสมอาจจะมีความชื้นมากขึ้นหรือน้อยกว่าสภาวะดังกล่าว จะต้องปรับลดหรือเพิ่มน้ำหนักเนื่องจากความชื้น

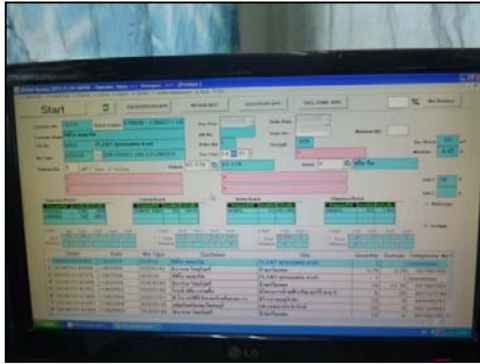


รูปที่ 111 การปรับส่วนผสมจากเครื่องควบคุม

- เวลาที่ใช้จะต้องเหมาะสม ตามมาตรฐานคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตรควรใช้เวลาผสม 1 นาที การผสมนานเกินไป ทำให้เกิดผลเสียคือ วัสดุผสมรวมที่ใช้ผสมจะแตก ทำให้ส่วนผสมละเอียดเพิ่มขึ้นและทำให้ความสามารถเทได้ลดลง ผลของแรงเสียดทานทำให้ความร้อนของคอนกรีตเพิ่มขึ้น กำลังคอนกรีตจะลดลง

5. การควบคุมคอนกรีต ในการผสมคอนกรีตจากโรงผสม ผู้ควบคุมการผสมจะต้องแจ้งข้อมูลการผสม และติดตามตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตที่ออกจากโรงผสมให้ได้สัดส่วนตามที่ออกแบบไว้ดังนี้

- การออกไปนำส่งคอนกรีตจากโรงผสม เพื่อเป็นการให้ข้อมูลแก่ช่างควบคุมงานว่าเป็น Mix ใด ปริมาตรคอนกรีตเท่าใด ออกจากโรงผสมเวลาใด เพื่อให้ช่างควบคุมงานตรวจสอบที่หน้างาน และใช้เทคอนกรีตโครงสร้างที่ถูกต้อง



รูปที่ 112 ตัวอย่างรายละเอียดส่วนผสมคอนกรีตและใบนำส่งคอนกรีต

- ตรวจสอบค่าการยุบตัวและเก็บตัวอย่างทดสอบเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของคอนกรีตก่อนออกจากโรงผสมกับคอนกรีตหน้างาน



รูปที่ 113 การตรวจสอบค่าการยุบตัว (Slump Test)

ส่วนที่ 5

การควบคุมคุณภาพการก่อสร้างภาคสนาม

การควบคุมคุณภาพการก่อสร้างภาคสนามมีความสำคัญต่อคุณภาพของถนนเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จเป็นอย่างมาก ทั้งในด้านความแข็งแรงและความเรียบของถนน นายช่างผู้ควบคุมงานจะต้องควบคุมการก่อสร้างทุกขั้นตอน ให้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

อนึ่งบทความในหัวข้อต่อไปนี้มีคณะผู้จัดทำได้แทรกเนื้อหาเพิ่มเติมจากมาตรฐานของกรมทางหลวงเพื่อให้เห็นภาพชัดเจนมากขึ้น โดยเนื้อหาดังกล่าวมาจากประสบการณ์การทำงานและแนวความคิดของคณะผู้จัดทำเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนผูกพันแต่อย่างใด

5.1 การเตรียมโครงสร้างชั้นทางที่รองรับถนนคอนกรีต

ก่อนจะดำเนินการก่อสร้างถนนคอนกรีต โครงสร้างชั้นทางใต้ถนนคอนกรีตเป็นส่วนสำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของถนนคอนกรีต โดยเฉพาะความสม่ำเสมอเพื่อทำหน้าที่เป็นฐานให้กับผิวทางคอนกรีต ควรจะควบคุมการก่อสร้างให้เป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวงในแต่ละชั้นทางตามแบบโครงสร้างชั้นทาง ทั้งนี้การควบคุมงานควรจะมีขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบคุณภาพวัสดุหน้างาน จะต้องมีความสมบัติทางวิศวกรรมเป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวงในแต่ละโครงสร้างชั้นทาง
2. ตรวจสอบจุดอ่อนตัวของโครงสร้างชั้นทาง (Soft Spot)
3. ตรวจสอบแนวระดับให้ถูกต้องตามแบบการก่อสร้าง
4. ตรวจสอบความแน่นของโครงสร้างชั้นทางให้เป็นไปตามมาตรฐานและข้อกำหนดของกรมทางหลวง

ทั้งนี้หากมีส่วนใดไม่สมบูรณ์ ให้ดำเนินการแก้ไขก่อนดำเนินงานขั้นตอนต่อไป

ก่อนการตั้งแบบเพื่อเทคอนกรีตในขั้นตอนถัดไปจะต้องปาดแต่งคันทางส่วนที่กว้างเลยขอบบริเวณที่จะเทคอนกรีตออกไปเป็นระยะไม่น้อยกว่า 600 มิลลิเมตร หรือตามที่ระบุไว้ในแบบ ให้ได้ระดับและแนวด้วย โดยทั่วไปให้เตรียมพื้นที่เพื่อตั้งแบบ เพื่อเทคอนกรีตได้ระยะทางอย่างน้อย 50 เมตร ล่วงหน้าไปจากจุดที่กำลังเทคอนกรีต นอกจากได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นอย่างอื่น



รูปที่ 114 การตรวจสอบโครงสร้างชั้นทางก่อนการตบแบบ

ข้อควรระวัง 1. ควรระมัดระวังการเกิดจุดอ่อนตัว (Soft Spot) ได้ก่องวัสดุทรายรองพื้นคอนกรีตบนชั้นโครงสร้างชั้นทางที่ทดสอบแล้ว และดำเนินการแก้ไขก่อนดำเนินการขั้นตอนต่อไป	
ปัญหาที่พบได้บ่อย 1. การกองทรายทิ้งไว้เป็นระยะเวลานาน ทำให้ชั้นรองพื้นทางอ่อนตัว	แนวทางการแก้ไข 1. เคลี่ยชั้นทราย (Sand Cushion) ให้เร็วที่สุด และบดทับให้แน่น

5.2 การตบแบบ

ก่อนดำเนินการตบแบบเทถนนคอนกรีตจะต้องดำเนินการตรวจสอบแบบหล่อและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการตบแบบ ดังนี้

5.2.1 ตรวจสอบสภาพของแบบหล่อคอนกรีตและส่วนประกอบของแบบ

แบบหล่อคอนกรีตที่ใช้ต้องมีผนังและขอบตรง แข็งแรง ควรมีความหนาอย่างน้อยที่สุด 5 มิลลิเมตร และแต่ละท่อนต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 3 เมตร อีกทั้งต้องมีความสูงมากพอที่จะทำให้ความหนาของผิวทางคอนกรีตได้ตามที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง และความกว้างของฐานแบบอย่างน้อยต้องเท่ากับความสูงที่ใช้ในงานของแบบ

แบบที่ใช้ต้องไม่บิด โก่ง งอ สามารถตรวจสอบความโก่งงอของแบบ โดยขอบบนของแบบเมื่อวัดด้วยไม้บรรทัดตรง (Straightedge) ยาว 3 เมตรหรือการชิงเอ็นเป็นแนวเส้นตรง ที่ตอนใดก็ตาม ระดับจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร และแนวจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 6 มิลลิเมตร

แบบต้องมีส่วนประกอบสำหรับยึดปลายแบบให้แน่นสนิทเมื่อต่อกันและให้ความมั่นคงแข็งแรงเมื่อตบแบบ เช่น สลัก และ ลิ่ม ความยาวของหมุดยึดแบบนี้ต้องมีขนาดเพียงพอในการยึดแบบให้มั่นคงไม่เคลื่อนที่ได้ ทั้งนี้หากพื้นทางมีความแข็งแรงมาก อาจจะใช้ Hydraulic Jack ช่วยในการกดหมุดสลักด้วย

แผ่นรองหนุนแบบในการปรับระดับฐานแบบหล่อ ควรมีขนาดกว้างเต็มแบบและมีความหนาหลายขนาดเพื่อปรับระดับและป้องกันการเสียรูปขณะทำการก่อสร้าง



รูปที่ 115 แบบหล่อคอนกรีตที่เหมาะสม

5.2.2. การติดตั้งแบบ

แบบจะต้องยึดแน่นให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยใช้หมุดไม่น้อยกว่า 3 ตัวต่อความยาว 3 เมตรปลายทุกปลายของแบบแต่ละท่อนให้ตอกหมุดยึดให้แน่น ต้องยึดแบบให้แน่นไม่เคลื่อนที่หรือเลื่อนหลุด แนวของแบบไม่ว่าที่จุดใดก็ตามจะคลาดเคลื่อนไปจากแนวที่กำหนดได้ไม่เกิน 6 มิลลิเมตร ให้ทำความสะอาดแบบและทาน้ำมันที่แบบก่อนเทคอนกรีต



รูปที่ 116 หมุดยึดแบบและส่วนประกอบสำหรับยึดปลายแบบ

5.2.3. การตรวจสอบระดับและแนว

ให้ตรวจสอบระดับและแนวของแบบที่ตั้งไว้ โดยทดลองให้เครื่องปูและเครื่องแต่งคอนกรีตผ่านไปบนแบบ ถ้าปรากฏว่าแบบที่ตั้งไว้ ไม่มั่นคงแข็งแรงให้ทำการแก้ไขและตรวจสอบใหม่ให้เรียบร้อย ภายหลังจากที่เครื่องปูและเครื่องแต่งคอนกรีตผ่านไปบนแบบแล้วขอบบนของแบบเมื่อวัดสอบด้วยไม้บรรทัดตรงยาว 3 เมตร คร่อมรอยต่อของแบบตอนใดก็ตาม ระดับจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร และแนวจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 6 มิลลิเมตร จากที่ระบุไว้ในแบบก่อสร้าง

5.3 การเตรียมชั้นทรายรองถนนคอนกรีต

ทรายรองผิวทางถนนคอนกรีตจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานและข้อกำหนดของกรมทางหลวง ขั้นตอนการควบคุมงานมีดังนี้

1. ตรวจสอบทรายให้เป็นไปตาม ทล-ม. 211/2533 วัสดุจะต้องไม่มีเศษปูน เศษไม้ ก้อนดิน หรือสิ่งอื่นใดที่ไม่เหมาะสมปนอยู่ด้วย



วัสดุทรายรองถนนคอนกรีตที่ดี



วัสดุทรายรองถนนคอนกรีตที่ไม่ดี

รูปที่ 117 วัสดุทรายรองถนนคอนกรีต

2. เมื่อลงวัสดุดังกล่าวแล้วต้องเกลี่ยทรายให้เรียบและพ่นน้ำให้ทรายชุ่ม ทั้งนี้เพื่อป้องกันปัญหาทรายชั้นรองถนนคอนกรีตจะดูดน้ำจากคอนกรีตสดทำให้คอนกรีตสดเสียน้ำอย่างรวดเร็วเป็นสาเหตุให้เกิดการแตกร้าวได้



รูปที่ 118 การใช้เหล็กเกลี่ยทรายเพื่อให้ได้ระดับและการพ่นน้ำให้ทรายชุ่ม

3. บดอัดทรายให้แน่นและได้ระดับตามแบบก่อสร้าง เนื่องจากหากทรายชั้นรองผิวทางถนนคอนกรีตไม่แน่นคอนกรีตสามารถยุบตัวลงในขณะที่กำลังจะแข็งตัว ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแตกร้าวได้ ทั้งนี้ก่อนเทคอนกรีตถ้าชั้นทรายในขณะจะเทคอนกรีตแห้งให้พรมน้ำให้ชุ่ม แต่ห้ามปล่อยให้น้ำขังอยู่บนผิวของชั้นทาง และควรทำความสะอาดชั้นทรายรองถนนคอนกรีตก่อนเทคอนกรีต



รูปที่ 119 การบดอัดโดยใช้เครื่องจักร



ชั้นทรายรองถนนคอนกรีตที่เหมาะสม



ชั้นทรายรองถนนคอนกรีตที่ไม่เหมาะสม

รูปที่ 120 ชั้นทรายรองถนนคอนกรีต

ข้อควรระวังในกรณีที่ถนนผิวทางคอนกรีตมีทรายรองพื้นคอนกรีตในโครงสร้างชั้นทาง

หลังจากดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จควรรีบดำเนินการปิดทับด้วยวัสดุตามแบบก่อสร้างที่บริเวณขอบทางถนนคอนกรีต หรือดำเนินการก่อสร้างไหล่ทางตามแบบที่กำหนด เพื่อป้องกันการไหลออกของทรายรองพื้นคอนกรีต ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดโพรงใต้ถนนคอนกรีต และรอยแตกของถนนคอนกรีตตามมา



รูปที่ 121 การเกิดโพรงใต้ถนนคอนกรีต

ข้อควรระวัง 1. ความชื้นของทรายรองพื้นถนนคอนกรีตควรชุ่มเพื่อป้องกันการดูดน้ำจากคอนกรีตสด 2. ควรบดอัดทรายให้แน่น เนื่องจากถ้าทรายชั้นรองถนนคอนกรีตไม่แน่นคอนกรีตสามารถเคลื่อนทรุดตัวลงในขณะที่กำลังจะแข็งตัว ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแตกร้าวได้ 3. ควรทำความสะอาดชั้นทรายรองถนนคอนกรีตก่อนเทคอนกรีต	
ปัญหาที่พบได้บ่อย 1. การเกิดโพรงใต้ถนนคอนกรีตในระหว่างการก่อสร้าง เนื่องจากการกักเซาะจากน้ำ	แนวทางการแก้ไข 1) ดำเนินการนำวัสดุปิดไหล่ถนนคอนกรีต ป้องกันทรายใต้ถนนคอนกรีตไหลออก

5.4 การเตรียมรอยต่อและเหล็กเสริมถนนคอนกรีตก่อนเทคอนกรีต

รอยต่อถนนคอนกรีต จะต้องเป็นประเภทที่แสดงไว้ในแบบและจะต้องก่อสร้างให้เป็นไปตามแบบ ก่อนที่จะนำวัสดุสำหรับรอยต่อเข้าติดตั้งในที่ชั้นทางตรงตำแหน่งนั้น ๆ จะต้องมีความเรียบร้อย โดยได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว

5.4.1 ประเภทของรอยต่อถนนคอนกรีต

1) รอยต่อเพื่อขยายตามขวาง (Transverse Expansion Joint)

เป็นรอยต่อที่ก่อสร้างเพื่อให้ถนนคอนกรีตสามารถขยายตัวได้โดยไม่กระทบกับโครงสร้างข้างเคียง โดยทั่วไปจะประกอบด้วย แผ่นพลาสติกรองพื้นคอนกรีต (Plastic Sheet) เหล็กเดือย (Dowel Bar) ปลอกเหล็กเดือย (Metal Cap) และวัสดุอุดรอยต่อ (Joint Filler)

ปัจจุบันรอยต่อนี้ไม่นิยมใช้แล้ว ซึ่งตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง ปี 2558 รอยต่อเพื่อขยายตัว (Expansion Joint) จะใช้ก่อสร้างในกรณีที่ขยายผิวจราจรเดิมในตำแหน่งที่มีรอยต่อเพื่อการขยายตัวเดิม และบริเวณจุดเชื่อมต่อกับโครงสร้างสะพาน หรือแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณคอสะพาน (Approach Slab)

วัสดุที่ใช้สำหรับทำรอยต่อเพื่อขยายตามขวางจะต้องประกอบนอกช่องทางที่จะเทคอนกรีต และจะต้องประกอบให้เสร็จเรียบร้อยก่อนนำมาติดตั้งในแบบวัสดุอุดรอยต่อแต่ละชุดจะต้องประกอบด้วยแผ่นสำหรับยกที่ให้ติดตั้งในที่หรือสิ่งอื่นที่ได้รับความเห็นชอบให้ใช้แทนได้ วัสดุอุดรอยต่อขนาดตามที่กำหนดบล็อกเหล็กเดี่ยวหนาไม่น้อยกว่า 2.5 มิลลิเมตร ทำด้วยโลหะหรือวัสดุสังเคราะห์ที่ได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้งานและมีช่องว่างภายในระหว่างปลายเหล็กเดี่ยวถึงกันบล็อกไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร

เหล็กเดี่ยวจะต้องมีขนาดและความยาวที่ถูกต้องและถูกติดตั้งไว้ตามตำแหน่งที่กำหนดบล็อกเหล็กเดี่ยวและสิ่งที่ยักรองรับและยึดเหล็กเดี่ยวจะต้องถูกติดตั้งให้มีระยะที่ตรงตามแบบโดยติดตั้งไว้ที่ปลายหรือใกล้ปลายของเหล็กเดี่ยว

แผ่นสำหรับยกจะต้องเป็นแผ่นโลหะที่มีความมั่นคงแข็งแรง ตัดให้ได้ตามความลึกรูปตัดหลังทางของแผ่นพื้นคอนกรีตนั้น ๆ โดยที่ส่วนยาวของแผ่นจะมีระยะความยาวให้น้อยกว่าความยาวของรอยต่อที่กำหนดประมาณ 10 มิลลิเมตร ทั้งนี้ส่วนล่างของแผ่นให้เจาะเป็นร่องขึ้นมาเท่าที่จำเป็นเท่านั้นเพื่อให้สะดวกต่อการประกอบและถอดออก

บล็อกเหล็กเดี่ยวอาจจะแยกเป็นอีกส่วนหนึ่งต่างหากหรือติดรวมเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นสำหรับยกก็ได้ให้ทำความสะอาดแผ่นสำหรับยกบล็อกเหล็กเดี่ยวและทาน้ำมันหล่อลื่นก่อนนำไปใช้งาน

ครึ่งหนึ่งของความยาวเหล็กเดี่ยวแต่ละท่อนให้ทาด้วยยางแอสฟัลต์หนึ่งชั้นหรือจะใช้สีน้ำมันทา ก่อนแล้วทาทับด้วยจาระบีอีกชั้นหนึ่งก็ได้หรือวัสดุอื่นใดที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นว่าเหมาะสมที่จะช่วยป้องกันมิให้คอนกรีตยึดหน่วงปลายเหล็กเดี่ยวนั้นหลังจากนั้นให้สวมบล็อกเหล็กเดี่ยวข้างที่ทาแล้วทุกปลาย แล้วอุดด้วยวัสดุที่เหมาะสมเพื่อป้องกันมิให้น้ำปูนไหลเข้าไปในบล็อกเหล็กเดี่ยวและช่วยให้เหล็กเดี่ยวอยู่ตรงกลางของบล็อกเหล็กเดี่ยว

ที่ยักรองรับและยึดเหล็กเดี่ยวจะต้องเป็นแบบและจัดทำไว้ให้สามารถยึดเหล็กเดี่ยวให้อยู่ในแนวที่ถูกต้องทั้งทางตั้งและทางราบ โดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 1 มิลลิเมตรต่อระยะ 100 มิลลิเมตร

เมื่อนำส่วนต่าง ๆ มาประกอบเข้าด้วยกันขอบบนของแผ่นสำหรับยกจะต้องสูงกว่าขอบบนของแผ่นวัสดุอุดรอยต่อสำเร็จรูปประมาณ 5 มิลลิเมตรวัสดุอุดรอยต่อจะต้องอยู่แนวดิ่งเมื่อเหล็กเดี่ยวอยู่ในแนวราบผิวหน้าของแผ่นวัสดุอุดรอยต่อจะต้องอยู่ในระนาบตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางถนน และยอมให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ในช่วงความกว้างของช่องจราจร 1 ช่องเหล็กเดี่ยวทุกอันจะต้องขนานกันและจะต้องตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นวัสดุอุดรอยต่อ

การติดตั้งส่วนประกอบวัสดุอุดรอยต่อทั้งชุดนี้ ให้แผ่นสำหรับยกอยู่ทางด้านที่ไม่ได้เทคอนกรีต ขอบบนของวัสดุอุดรอยต่อจะต้องต่ำกว่าระดับผิวคอนกรีตที่กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร ขอบล่างตั้งอยู่บนหรือฝังลงไปในชั้นทางเล็กน้อยและจะต้องอยู่ในแนวดิ่ง ให้ตอกหมุดยึดส่วนประกอบวัสดุอุดรอยต่อทั้งชุดให้มั่นคงแข็งแรงและอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องตลอดเวลาการก่อสร้าง

หมุดยึดจะต้องมีรูปตัดและความยาวตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร ถ้าเป็นโลหะรูปตัว U) ความหนาโลหะนั้นจะต้องไม่น้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร หมุดยึดจะต้องยาว 400 มิลลิเมตร หรือมากกว่า ถ้าจำเป็นเพื่อตอกยึดส่วนประกอบให้มีความมั่นคงแข็งแรง



รูปที่ 122 รอยต่อเพื่อขยายตามขวาง

2) รอยต่อเพื่อหดตามขวาง (Transverse Contraction Joint)

รอยต่อเพื่อหดตามขวางนี้ให้ทำขึ้นโดยใช้เครื่องตัดให้เป็นร่องลงไปจากผิวของคอนกรีตเท่านั้น เพื่อทำให้เกิดระนาบที่มีความแข็งแรงน้อยลง

ชุดอุปกรณ์ถ่ายน้ำหนักสำหรับรอยต่อเพื่อหดตามขวางประกอบด้วยเหล็กเดียวไม่มีปลอก อุปกรณ์บังคับระยะและที่รองรับเหล็กเดียวซึ่งได้รับความเห็นชอบแล้วและอาจรวมถึงแผงสำหรับยกด้วยหากนำมาใช้งาน

ให้หาเหล็กเดียวครึ่งหนึ่งของความยาวแต่ละท่อนด้วยยางคัทแบคแอสฟัลต์หรือทาด้วยสีน้ำมันแล้วเคลือบด้วยจาระบีหรือทาด้วยวัสดุอื่นใดที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นว่าเหมาะสม เพื่อป้องกันมิให้คอนกรีตยึดหน่วงปลายเหล็กเดียวนั้น

ที่รองรับต้องสามารถยึดเหล็กเดียวให้อยู่ในแนวที่ถูกต้องทั้งทางตั้งและทางราบได้ โดยให้ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ต่อระยะ 100 มิลลิเมตร

ให้ติดตั้งชุดอุปกรณ์ถ่ายน้ำหนักแต่ละชุดในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยให้แนวของเหล็กเดียวยาวขนานกับแนวศูนย์กลางถนนและตอกยึดให้มั่นคงแข็งแรงอยู่ในตำแหน่งนั้นตลอดช่วงเวลาของการก่อสร้าง



รูปที่ 123 รอยต่อเพื่อหดตามขวาง

3) รอยต่อตามยาว (Longitudinal Joint)

รอยต่อตามยาวต้องก่อสร้างให้เป็นไปตามรายละเอียดที่แสดงไว้ในแบบ โดยใช้เครื่องตัดคอนกรีตตัดให้เป็นร่องเพื่อทำให้เกิดระนาบที่มีความแข็งแรงน้อยลง และจะต้องดำเนินการให้เป็นไปตามข้อกำหนดในแบบ

เหล็กยึดที่รอยต่อตามยาวต้องวางให้ตั้งฉากกับแนวรอยต่อและอยู่ในตำแหน่งตามที่ระบุไว้ในแบบ ห้ามทาสีหรือทาสด้วยยางแอสฟัลต์หรือวัสดุอื่นใดที่เหล็กยึด ในกรณีที่แผ่นพื้นคอนกรีตในช่องที่ติดกันนั้นสร้างไม่พร้อมกัน ให้ใช้แบบเหล็กแบบรางลื่นตลอดความยาวของรอยต่อก่อสร้างเหล็กยึดอาจจะขอให้ตั้งฉากกับแบบได้ก็ต่อเมื่อได้หล่อคอนกรีตช่วงแรกเสร็จแล้ว หลังจากนั้นให้ตัดให้ตรงอย่างเดิมก่อนที่จะทำการหล่อแผ่นพื้นคอนกรีตในช่องที่อยู่ถัดไป



รูปที่ 124 เหล็กยึดรอยต่อเพื่อหดตามยาว

4) รอยต่อก่อสร้างตามขวาง (Transverse Construction Joint)

รอยต่อก่อสร้างตามขวางให้เป็นแบบต่อชน (Butt Type) หรือเป็นแบบรางลื่นก็ได้และให้มีเหล็กเดือยตรงบริเวณที่ทำรอยต่อก่อสร้างตามขวาง รอยต่อก่อสร้างจะทำตรงที่เป็นรอยต่อระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่ โดยปกติจะทำตรงที่สิ้นสุดการเทคอนกรีตตลอดช่วงความยาวของแผ่นพื้นคอนกรีตแผ่นสุดท้ายในแต่ละวัน



รูปที่ 125 รอยต่อก่อสร้างตามขวาง

5.4.2 ข้อเสนอแนะสำหรับติดตั้งส่วนประกอบต่าง ๆ ของรอยต่อและเหล็กเสริมก่อนเทคอนกรีต

1) การวางเหล็กเดือย (Dowel bar)

เหล็กเดือยเป็นเหล็กเส้นผิวเรียบกลมเคลือบด้วยยางมะตอยหรือสีที่เป็นระยะครึ่งหนึ่งของความยาวเหล็ก และทาจาระบีก่อนนำไปวางเพื่อให้แผ่นคอนกรีตเคลื่อนที่ได้ขณะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากอุณหภูมิและการสูญเสียน้ำในช่วงการแข็งตัวก่อนดำเนินการวางเหล็กเดือยควรตรวจสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวให้เป็นไปตามข้อกำหนดในแบบและความเรียบร้อยตัดของปลายเหล็กเดือยถ้าปลายเหล็กเดือยบิ่นควรแก้ไขโดยการเจียก่อนนำมาใช้งาน



เหล็กเดือยที่ควรแก้ไขก่อนนำมาใช้



เหล็กเดือยที่เหมาะสมในการนำมาใช้

รูปที่ 126 เหล็กเดือย (Dowel Bar)

ในการวางเดือย ตำแหน่งของเหล็กเดือยเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้รอยแตกเกิดตรงกับรอยต่อที่ออกแบบและการถ่ายแรงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งแนวและความลึกของเหล็กเดือย การวางเหล็กเดือยควรวางให้ขนานกับแนวถนนและตั้งฉากกับรอยต่อเพื่อให้การถ่ายแรงของเหล็กเดือยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และควรทำเครื่องหมายตำแหน่งของเหล็กเดือยเพื่อความแม่นยำในการตัดรอยต่อได้ตรงตำแหน่ง โดยสามารถวางเหล็กเดือยด้วย

- ใช้แผงเหล็กวางแล้วยกออกหลังเทคอนกรีต
- ใช้ขาตั้ง (Bar Chair) หรือ ตะแกรงมารองเหล็กเดี่ยว (Dowel Basket) วางล่วงหน้าก่อนเทคอนกรีต
- ใช้เครื่องกดเหล็กเดี่ยวที่จะดำเนินการพร้อมกับการเทคอนกรีตโดยใช้เครื่องปูคอนกรีต

ซึ่งวิธีการใช้ขาตั้งจะทำให้การวางเหล็กเดี่ยวได้ถูกต้องแม่นยำตรงตำแหน่งมากกว่า



การใช้แผงเหล็กยกวางเหล็กเดี่ยว



การใช้ขาตั้งวางเหล็กเดี่ยว

รูปที่ 127 การวางเหล็กเดี่ยว (Dowel Bar)

2) การวางเหล็กยึด (Tie bar)

เหล็กยึดที่ใช้ในการก่อสร้างจะใช้เหล็กเส้นข้ออ้อยไม่มีการหล่อลื่น เพื่อต้องการยึดแน่นไม่ให้เกิดรอยแยกและการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างแผ่นคอนกรีต ก่อนดำเนินการวางเหล็กยึดควรตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวให้เป็นไปตามข้อกำหนดในแบบ

การวางเหล็กยึดนั้นจะวางให้ตั้งฉากกับแนวนอนและขนานกับรอยต่อ รวมทั้งระยะฝังเหล็กยึดและระยะห่างระหว่างเหล็กยึดแต่ละอันควรเป็นไปตามแบบก่อสร้าง และควรทำเครื่องหมายตำแหน่งของเหล็กยึด เพื่อความแม่นยำในการตัดรอยต่อได้ตรงตำแหน่ง ส่วนใหญ่เหล็กยึดจะวางขณะที่เทคอนกรีต สามารถวางตามที่เจาะช่องไว้ข้างแบบหล่อคอนกรีต หรือใช้คนวางตามเครื่องปูคอนกรีตขณะเทคอนกรีตก็ได้



การวางเหล็กยึดโดยใช้คนพร้อมเครื่องปูคอนกรีต



การวางเหล็กยึดตามช่องข้างแบบหล่อคอนกรีต

รูปที่ 128 การวางเหล็กยึด (Tie bar)

โดยทั่วไปในการก่อสร้างถนนคอนกรีต ปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งคือเหล็กยึดและเหล็กเดือยจะชนกัน ซึ่งตามแบบก่อสร้างเหล็กยึดไม่ควรอยู่ในระยะ 30 เซนติเมตรจากรอยต่อตามขวาง ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหานี้ช่างควบคุมงานอาจจะแนะนำการเพิ่มรูเผื่อที่แบบหล่อคอนกรีต เพื่อให้สามารถเลื่อนเหล็กยึดไม่ให้ตรงกับเหล็กเดือยได้

3) การวางเหล็กเสริม (Steel Reinforcement/Steel Wire Fabric)

การวางเหล็กเสริมป้องกันการแตกร้าวที่จะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถนนคอนกรีต เหล็กเสริมสำหรับถนนคอนกรีตสามารถเป็นชนิดตะแกรงเหล็กเส้น หรือ แผงลวดตาข่าย

ก่อนดำเนินการวางเหล็กเสริมควรตรวจสอบขนาดเหล็ก กำลังของเหล็ก และระยะของตะแกรงให้เป็นไปตามข้อกำหนดในแบบก่อสร้างและไม่เป็นสนิม



เหล็กเสริมที่เป็นสนิมไม่ควรนำมาใช้คอนกรีต



เหล็กเสริมที่ควรนำมาใช้

รูปที่ 129 เหล็กเสริม

การวางเหล็กเสริมจะต้องวางในระยะหุ้ม (Covering) ที่กำหนดในแบบโดยที่เหล็กด้านสั้นหรือด้านขวางจะต้องวางอยู่ด้านบนของตะแกรงเหล็ก ในการวางเหล็กเสริมสามารถทำได้โดยการวางเหล็กเสริมบนขาตั้ง (Bar Chair) หรือแท่งคอนกรีตหรือเหล็กขาหยั่งไว้หนุนเหล็กเสริมเพื่อวางไว้ก่อนเทคอนกรีต หรือ ถ้าเทคอนกรีตแบบ 2 ชั้น สามารถวางเหล็กเสริมหลังจากเทคอนกรีตชั้นแรกตามระยะที่กำหนดให้ถึงระยะของเหล็กเสริมแล้วเทคอนกรีตชั้นที่ 2



การใช้ขาตั้งวางเหล็กเสริมไว้ก่อนปูคอนกรีต



การวางเหล็กเสริมหลังจากเทคอนกรีตชั้นแรก

รูปที่ 130 การวางเหล็กเสริม

ข้อควรระวัง ห้ามเทคอนกรีตก่อนแล้วใช้แรงกดเหล็กเสริมลงไปทีหลังและห้ามคนงานขึ้นไปเหยียบบนเหล็กเสริมเด็ดขาด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ไม่ได้ระดับความสูงของเหล็กตามแบบที่ก่อสร้าง เป็นต้นเหตุให้เกิดความเสียหายที่ผิวด้านบนของคอนกรีตตามมา



รูปที่ 131 ห้ามคนงานขึ้นไปเหยียบบนเหล็กเสริม

ข้อควรระวัง

1. ถ้าปลายเหล็กเดือยบินควรแก้ไขโดยการเจียก่อนนำมาใช้งาน
2. การวางเหล็กเดือยควรวางให้ขนานกับแนวถนนและตั้งฉากกับรอยต่อเพื่อให้การถ่ายแรงของเหล็กเดือยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
3. การวางเหล็กเสริมบนขาตั้ง (Bar Chair) หรือแท่งคอนกรีตหรือเหล็กขาหยั่งไว้หนุนเหล็กเสริมวางไว้ก่อนเทคอนกรีต เพื่อเหล็กเสริมอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดตามแบบ
4. ห้ามเทคอนกรีตก่อนแล้วใช้แรงกดเหล็กเสริมลงไปทีหลัง
5. ห้ามคนงานขึ้นไปเหยียบบนเหล็กเสริมโดยเด็ดขาด

ปัญหาที่พบได้บ่อย

1. เหล็กยึดและเหล็กเดือยจะชนกัน ซึ่งตามแบบก่อสร้างเหล็กยึดไม่ควรอยู่ในระยะ 30 เซนติเมตร จากรอยต่อตามขวาง

แนวทางการแก้ไข

1. เพิ่มรูเผื่อที่แบบหล่อคอนกรีตเพื่อให้สามารถเลื่อนเหล็กยึดไม่ให้ตรงกับเหล็กเดือยได้

5.5 การเทคอนกรีต

5.5.1. การเตรียมความพร้อมก่อนเทคอนกรีต

ก่อนดำเนินการเทคอนกรีตต้องตรวจสอบสภาพเครื่องจักรและเครื่องมือที่ใช้ในการเทคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อกำหนด ดังนี้

1) เครื่องปูคอนกรีต (Concrete Paver)

เครื่องปูคอนกรีตจะต้องเป็นเครื่องที่เคลื่อนไปมาได้อัตโนมัติบนแบบหล่อหรือบนรางที่ติดตั้งไว้ด้านข้างแบบหล่อ พร้อมติดตั้งเครื่องเกลี่ยคอนกรีตให้แก่กระจายเต็มผิวหน้าของแบบ เครื่องปูคอนกรีตจะต้องได้รับความเห็นชอบของนายช่างผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้งาน



เครื่องปูคอนกรีตแบบเลื่อน



เครื่องปูคอนกรีตบนแบบหล่อคอนกรีต

รูปที่ 132 เครื่องปูคอนกรีต (Concrete Paver)

2) เครื่องสั่นสะเทือน (Vibrator Machine)

เครื่องสั่นสะเทือนจะต้องสั่นสะเทือนได้เต็มความกว้างของแผ่นพื้นที่หล่อทั้งชนิดแผ่นสั่นสะเทือนหรือชนิดสั่นสะเทือนภายใน แต่จะต้องไม่กระทบกับแบบหล่อเหล็กเดี่ยวหรือเหล็กยึดและส่วนประกอบอื่น ๆ ที่รอยต่อหรือชั้นทรายใต้ผิวคอนกรีต

สำหรับเครื่องสั่นสะเทือนอาจจะเป็นชนิดที่ติดเข้ากับเครื่องปูคอนกรีตหรือติดเข้ากับเครื่องแต่งผิวคอนกรีตก็ได้ และอาจจะมีเครื่องสั่นสะเทือนที่ใช้คนถือร่วมด้วยในจุดที่ชุดสั่นสะเทือนไม่ถึง โดยความถี่ของเครื่องสั่นสะเทือนชนิดแผ่นสั่นสะเทือนจะต้องไม่น้อยกว่า 3,500 รอบต่อนาที และชนิดสั่นสะเทือนภายในจะต้องไม่น้อยกว่า 5,000 รอบต่อนาที

นอกจากนี้ควรตรวจสอบระยะห่างของแต่ละหัวสั่นและจำนวนของหัวสั่นในแต่ละชุดให้สามารถสั่นสะเทือนได้อย่างทั่วถึง เพื่อให้เนื้อคอนกรีตมีความแน่นสม่ำเสมอ ส่วนใดที่ชุดสั่นสะเทือนเข้าไม่ถึงให้ใช้เครื่องสั่นสะเทือนที่ใช้คนถือร่วมด้วย เช่น บริเวณขอบของแบบหล่อ บริเวณที่ติดเหล็กเดี่ยว เป็นต้น



เครื่องสั่นสะเทือนชนิดสั่นสะเทือนภายใน



การใช้เครื่องสั่นสะเทือนแบบคนถือร่วมด้วย

รูปที่ 133 เครื่องสั่นสะเทือน (Vibrator Machine)



เครื่องสั่นสะเทือนชนิดแผ่นสั่นสะเทือน

รูปที่ 134 (ต่อ) เครื่องสั่นสะเทือน (Vibrator Machine)

3) เครื่องแต่งผิวคอนกรีต

เครื่องแต่งผิวคอนกรีตจะต้องเป็นชนิดที่เลื่อนไปตามขวางได้ ใช้ปาดและแต่งผิวคอนกรีตได้ โดยจะต้องเป็นชนิดที่ได้ออกแบบไว้สำหรับใช้แต่งผิวคอนกรีต ซึ่งสามารถลบรอยคลื่นบาง ๆ ที่เกิดจากแผ่นสั่นสะเทือนได้และใช้ปรับแต่งให้ได้รูปของแนวลาดคันทาง



รูปที่ 135 เครื่องแต่งผิวคอนกรีตที่ติดตั้งพร้อมเครื่องปูคอนกรีต

ข้อควรระวัง

1. ควรตรวจสอบสภาพเครื่องจักรทุกชนิดให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
2. ควรตรวจสอบระยะห่างของแต่ละหัวจี้และจำนวนของหัวจี้ในแต่ละชุดให้สามารถสั่นสะเทือนได้อย่างทั่วถึง ส่วนใดที่ชุดสั่นสะเทือนเข้าไม่ถึงให้ใช้ เครื่องสั่นสะเทือนที่ใช้คนถือร่วมด้วย

หมายเหตุ

ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง ปี 2558 “การเทคอนกรีตต้องใช้เครื่องปูผิวทางคอนกรีต (Concrete Paver) ในกรณีจำเป็นที่จะต้องเทคอนกรีตด้วยแรงงานคน ให้เทได้เฉพาะช่วงที่วันไว้วางติดต่อกันไม่เกิน 30 เมตร”

ก่อนการเทคอนกรีตจะต้องตรวจสอบส่วนผสมคอนกรีต ปริมาณปูนซีเมนต์และน้ำ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในแบบก่อสร้างหรือมาตรฐานกรมทางหลวงและตรงตามการผสมทดลอง (Trial Mix) เพื่อใช้ในการวางแผนในการเทคอนกรีต ดังต่อไปนี้

การทดสอบหาการสูญเสียค่ายุบตัวของคอนกรีตเป็นการหาค่ายุบตัวจะลดลงเท่าไรในแต่ละช่วงเวลาของคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตจะสูญเสียความสามารถในการเท ทำให้ค่ายุบตัวของคอนกรีตลดลง

A photograph showing two types of molds used for casting concrete. On the left is a tall, cylindrical stainless steel mold with a handle and a base. On the right is a dark, conical mold made of a different material, possibly wood or plastic. A yellow measuring tape is placed vertically next to the conical mold to indicate its height. The molds are sitting on a concrete surface.

Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance					
No.	Casting time (hour:min)	Penetration Diameter(inch)	Penetration Load(pound)	Penetration Resistance(PSI)	Remark
1	0:00	1	0	0	Customer: shls flours to: fda
2	0:15	1	0	0	Project: water concrete & concrete concrete
3	0:50	1	0	0	of the concrete water concrete concrete
4	0:45	1	0	0	water concrete concrete concrete concrete
5	1:00	1	0	0	
6	1:15	1	0	0	Concrete Code: SC350DHO
7	1:30	1	10	13	Date Casting: 17/11/2013
8	1:45	1	50	64	Mixing Time: 13:30
9	2:00	1	72	92	Type of Cement: OPC1 - SCCC
10	2:15	1	100	127	Type of Admixure: A&B - Currim (P5-40)
11	2:30	0.5	40	204	Water/Cement ratio: 0.266
12	2:45	0.5	80	407	Slump of concrete: 4.0 cm.
13	3:00	0.5	110	560	Temperature of Concrete: 40 °C
14	3:15	0.25	40	815	Standard ref.: ASTM C403
15	3:30	0.25	60	1272	Determine time of initial and final setting
16	3:45	0.25	76	1548	Stiffening Time(70SP)
17	4:00	0.25	98	1996	~ 1.50 (hour:min)
18	4:15	0.25	122	2404	Initial Setting Time(50SP)
19	4:30	0.1	34	4327	~ 2.50 (hour:min)
20	4:45	0.1	46	5855	Final Setting Time(4000PSI)
21	5:00	0.1	67	7893	~ 4.55 (hour:min)

การควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทางสำหรับการก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

2) ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต (Setting time)

การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตคือการหาว่าเวลาใดที่คอนกรีตเริ่มก่อตัวและแข็ง โดยกระบวนการเริ่มแข็งตัวของคอนกรีตมีระยะเวลาสำคัญอยู่ 3 ช่วง คือ

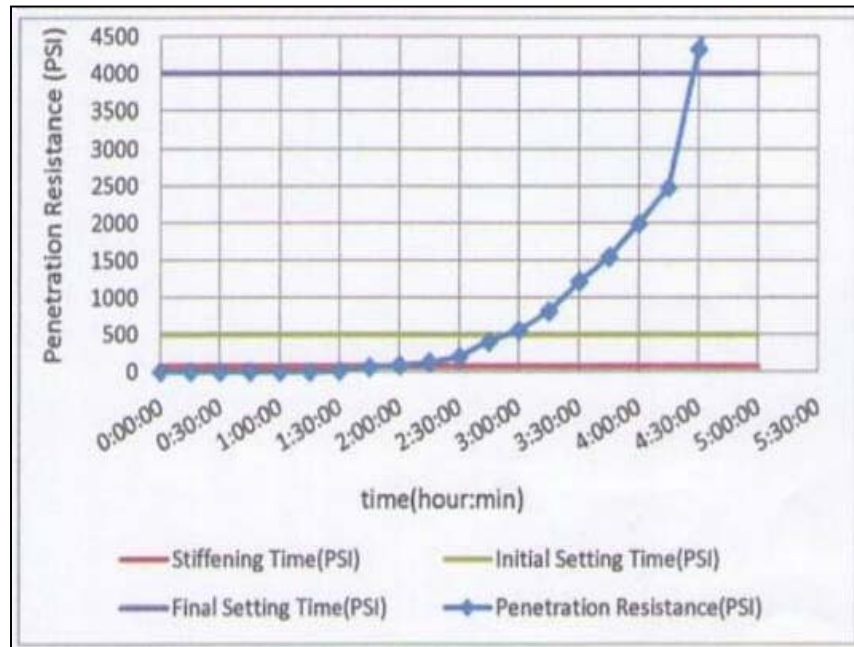
(1) ระยะเวลาการเริ่มก่อตัว (Stiffening Time) คือ เวลาที่มอร์ตาร์สามารถรับแรงเสียดทานจากเครื่องทดสอบได้ 5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (หรือ 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ณ เวลานั้นคอนกรีตเริ่มแข็งกระด้างหรือเริ่มจับตัวกันแล้ว

(2) ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) คือ ระยะเวลาที่แรงต้านทานต่อพื้นที่ของคอนกรีตเท่ากับ 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (หรือ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ณ เวลานั้นคอนกรีตเริ่มแข็งตัวแล้ว และเป็นเวลาโดยประมาณในการสิ้นสุดการเทและการอัดแน่นคอนกรีต ถ้าเทคอนกรีตสดชั้นใหม่ทับลงไปอีกจะก่อให้เกิด Cold Joint

(3) ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time) คือ ระยะเวลาที่แรงต้านทานต่อพื้นที่ของคอนกรีตเท่ากับ 276 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (หรือ 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ณ เวลานั้นคอนกรีตแข็งตัวสมบูรณ์แล้วและเริ่มมีการพัฒนากำลังอย่างชัดเจน

โดยทำการทดลองตามมาตรฐาน ASTM C 403 Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixture by Penetration Resistance (การทดสอบเวลาการก่อตัวของคอนกรีตด้วยวิธีการหาความต้านทานต่อการกด) ซึ่งจะเป็นการใช้เครื่องทดสอบโดยกดให้จมในเนื้อคอนกรีต 2.5 เซนติเมตรในระยะเวลาต่าง ๆ แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่างค่าแรงต้านทานจากการกดที่ได้กับเวลาหลังจากการผสม

การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตมีประโยชน์ในการวางแผนการทำงานทำให้ทราบว่า เมื่อระยะเวลาเท่าใดที่ยังสามารถผสม เท อัดแน่น แต่งผิวคอนกรีต (Initial Setting time) และระยะเวลาที่คอนกรีตสามารถเริ่มรับกำลังได้ (Final Setting time) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ควรจะสิ้นสุดการทำงาน เพื่อให้คอนกรีตได้พัฒนากำลังอย่างเต็มที่ ดังรูปที่ 114 ตัวอย่างการกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน



รูปที่ 138 ตัวอย่างผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต



รูปที่ 139 ตัวอย่างการกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน

5.5.3. การควบคุมงานขณะเทคอนกรีต

1. การควบคุมคุณภาพคอนกรีต

ในระหว่างการเทคอนกรีตจะต้องทดสอบคุณภาพคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนด ดังนี้

1) ค่าความยุบตัวของคอนกรีต (Slump)

ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่จะเก็บที่บริเวณพื้นที่ก่อสร้างซึ่งค่าความยุบตัวต้องอยู่ระหว่าง 30 – 70 มิลลิเมตร โดยทดลองตาม ทล.-ท. 304/2532 “วิธีการทดลองหาค่าความยุบตัวของคอนกรีต” เพื่อตรวจสอบคุณภาพในการเทของคอนกรีตและความสม่ำเสมอของคอนกรีตในแต่ละคันรถ

2) กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Compressive Strength)

ให้มีการสุ่มตัวอย่างคอนกรีต จำนวน 1 ครั้งต่อคอนกรีตที่เทประมาณ 50 ลูกบาศก์เมตรหรือทุกครั้งที่เทคอนกรีต (ในกรณีที่เทน้อยกว่า 50 ลูกบาศก์เมตร) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน จำนวนอย่างน้อย 1 ชุด (3 ก้อน) เพื่อทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด ตาม ทล.ท.302/2531 “วิธีการทดลองหาค่าแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกและรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์” โดยผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่อายุ 28 วันจะต้องไม่น้อยไปกว่าค่ากำลังรับแรงอัดที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง



รูปที่ 140 การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีตและการเก็บตัวอย่างคอนกรีตบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง

2. สภาพภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง

สภาพอากาศหน้างานเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลต่อคุณภาพของคอนกรีต ในกรณีที่อากาศร้อนมาก คอนกรีตจะสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดรอยแตก (Plastic Shrinkage Crack) บนผิวหน้าคอนกรีตควรพิจารณาปรับส่วนผสมของคอนกรีตและปริมาณสารผสมเพิ่มที่ช่วยหน่วงให้คอนกรีตแข็งตัวให้เหมาะสม



รูปที่ 141 รอยแตกที่เกิดจากการสูญเสียน้ำในสภาพอากาศร้อน

ในบริเวณพื้นที่ก่อสร้างจะต้องจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับป้องกันน้ำฝนอยู่ในสภาพพร้อมที่จะใช้งาน โดยครอบคลุมเต็มความกว้างของถนน เนื่องจากอาจจะมีฝนตกในขณะที่ดำเนินการเทคอนกรีตหรือตบแต่งผิวหน้าคอนกรีตเรียบร้อยแล้วแต่คอนกรีตยังไม่แข็งตัวดี



รูปที่ 142 การใช้ผ้าใบคลุมกันฝน

ข้อควรระวัง

1. ควรวางแผนการเทคอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพอากาศเพื่อให้การเทคอนกรีตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

3. การขนส่งคอนกรีต

การขนส่งคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้วออกจากโรงผสมไปถึงหน้างานให้ใช้รถบรรทุกที่มีเครื่องกวน คอนกรีตหรือรถผสมคอนกรีต ในกรณีที่จะใช้รถบรรทุกชนิดที่ไม่มีเครื่องกวนคอนกรีตจะต้องไปรับอนุญาตจากนายช่างผู้ควบคุมงาน และจะต้องขนส่งอย่างต่อเนื่อง ถ้าจำเป็นต้องหยุดจะต้องไม่รอนานจนทำให้คอนกรีตที่เทไว้เริ่มแข็งตัว โดยทั่วไปแล้วระยะเวลาในการขนส่งคอนกรีตนับตั้งแต่เริ่มการผสมคอนกรีตจนถึงการเทคอนกรีตจากถังบรรจุคอนกรีตจนแล้วเสร็จไม่ควรเกิน 60 นาที แต่เนื่องจากปัจจุบันมีการเติมสารผสมเพิ่มเพื่อหน่วงคอนกรีตจึงอาจใช้เวลาขนส่งได้ไม่เกิน 2 ชั่วโมง

หรือตามที่ยกแบบส่วนผสมไว้โดยอาจจะพิจารณาได้จากการลดของค่ายุบตัว (Slump Loss) ที่กล่าวแล้วข้างต้นและค่าการยุบตัวจะต้องอยู่ภายในค่าที่กำหนดไว้ตามแบบหรือมาตรฐานกรมทางหลวงโดยไม่มีการเติมน้ำเพิ่ม ทั้งนี้หากมีฝนตกระหว่างดำเนินการขนส่ง ควรทำการปิดปากโมไว้เพื่อป้องกันปริมาณน้ำส่วนเกินเข้าไปในคอนกรีต

4. การเทคอนกรีต

การเทคอนกรีตด้วยเครื่องปูคอนกรีตสามารถเทแบบหล่อคอนกรีต (Fixed Form) หรือเทโดยใช้เครื่องปูคอนกรีตแบบเลื่อน (Slip-form Paver)

- 1) การเทแบบหล่อคอนกรีต (Fixed Form): แบบหล่อคอนกรีตจะทำหน้าที่เป็นรางให้กับเครื่องปูคอนกรีต และยังสามารถใช้ในการกำหนดแนวและระดับให้ถนนคอนกรีต
- 2) การใช้เครื่องปูคอนกรีตแบบเลื่อน (Slip-form Paver): สามารถทำงานได้ในปริมาณที่มากและรวดเร็ว แต่ต้องใช้ค่ายุบตัวของคอนกรีตที่ต่ำกว่าปกติ เนื่องจากไม่มีแบบหล่อคอนกรีตคอยพยุงเนื้อคอนกรีต นอกจากนี้ยังเป็นการเทคอนกรีตได้ภายในขั้นตอนเดียวทั้งเกลี่ย อัดแต่ง และปาดผิวถนนคอนกรีต



รูปที่ 143 การเทคอนกรีตโดยใช้เครื่องปูแบบหล่อคอนกรีต



รูปที่ 144 การเทคอนกรีตโดยใช้เครื่องปูคอนกรีตแบบเลื่อน

ข้อแนะนำในการเทคอนกรีต

- (1) ห้ามใช้เครื่องสั่นสะเทือนในการทะลายกองคอนกรีต ให้ใช้เครื่องเกลี่ยแต่งที่เหมาะสม
- (2) ควรเทคอนกรีตให้เป็นชั้นสม่ำเสมอ ไม่ใช้กองเป็นภูเขาหรือเป็นชั้นตามแนวเอียง โดยให้รางที่ใช้เทคอนกรีตจากระดับไม่สูงเกินไปเพื่อให้เกิดกองเป็นภูเขาซึ่งจะทำให้คอนกรีตเกิดการแยกตัวได้ (Segregation)
- (3) ความหนาของการเทแต่ละชั้น ควรเหมาะสมกับวิธีการใช้เครื่องสั่นสะเทือน
- (4) เทคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการเกิด Cold joint
- (5) คอนกรีตในแต่ละชั้น ควรได้รับการจี้เข้าอัดให้แน่นก่อนที่จะเทคอนกรีตชั้นต่อไป และควรเทคอนกรีตชั้นบนในขณะที่คอนกรีตชั้นล่างยังเหลวอยู่เพื่อจะได้โครงสร้างที่มีเนื้อเดียวกันแต่ห้ามใช้เครื่องสั่นสะเทือนกด ณ ที่ใดที่หนึ่งนานเกิน 30 วินาที
- (6) ห้ามคนงานเดินบนเหล็กเสริมและคอนกรีตที่เทเสร็จใหม่ๆ
- (7) ถ้าต้องหยุดรอคอนกรีตนานเกิน 30 นาที ให้สั่งหยุดงาน และสั่งทำการรอยต่อก่อสร้างตามขวางทันที



รูปที่ 145 การใช้เครื่องสั่นสะเทือนอัดแต่งคอนกรีต



รูปที่ 146 การอัดแต่งไม่ดีจึงทำให้เกิดการแยกตัวของคอนกรีต

5.6 การแต่งผิวหน้าคอนกรีต

5.6.1. การแต่งผิวหน้าคอนกรีต

หลังจากเทคอนกรีตเรียบร้อยแล้วให้รีบอัดแต่งและปาดด้วยเครื่องแต่งคอนกรีตหรือเครื่องมือแต่งด้วยแรงงานคนให้เร็วที่สุด ผิวคอนกรีตที่ตบแต่งเรียบร้อยแล้วจะต้องไม่มีรูพรุน และให้ใช้อุปกรณ์แต่งผิว เช่น ไม้สามเหลี่ยม ไม้บรรทัดยาว แต่งต่อจนได้ผิวเรียบและได้ระดับตามแบบ

การแต่งผิวหน้าของคอนกรีตจะต้องไม่เกินช่วงที่คอนกรีตเริ่มก่อตัว ทั้งนี้การแต่งผิวหน้าคอนกรีตที่มากเกินไปจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) ขึ้นมาบนผิวหน้ามากเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้ผิวหน้าคอนกรีตหลุดร่อนได้ในอนาคต และห้ามใส่น้ำเพิ่มระหว่างการแต่งผิวหน้า

ในการแต่งผิวคอนกรีตบริเวณรอยต่อจะต้องกระทำด้วยความระมัดระวังเป็นพิเศษ เพื่อให้ได้รอยต่อที่เรียบทั้งสองข้างของรอยต่อ ในกรณีที่สงสัยว่าการตบแต่งบริเวณรอยต่อยังไม่เรียบเรียบร้อย นายช่างผู้ควบคุมงานอาจสั่งการให้ตรวจสอบความเรียบของผิวคอนกรีตบริเวณรอยต่อโดยใช้บรรทัดตรงวัดสอบดู

ในการแต่งผิวคอนกรีตถ้าพบว่าระดับต่ำเกินไปให้รีบเสริมและถ้าระดับสูงเกินไปให้รีบปาดออกแล้วจึงอัดแต่งและตบแต่งผิวอีกครั้งหนึ่ง การแต่งผิวและการแก้ไขผิวคอนกรีตให้กระทำต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งผิวพื้นคอนกรีตนั้นเรียบ มีความลาดและความโค้งหลังทางถูกต้อง



รูปที่ 147 การแต่งผิวคอนกรีตโดยใช้ไม้ปาดแต่ง

5.6.2. การกวาดหรือการกรีตหน้า

ผิวสัมผัสของผิวคอนกรีตมีความสำคัญต่อการสิ้นเปลืองของล้อรถกับผิวถนนและเสียงที่เกิดจากการใช้ถนน ดังนั้นการกรีตหน้าคอนกรีตจะต้องทำในเวลาที่ก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว เพื่อให้เกิดผิวสัมผัสที่เหมาะสม ไม่ทำให้เกิดผิวหน้าคอนกรีตร่อนก่อนเวลา

ก่อนกวาดหน้า ให้ทำการตรวจสอบเครื่องมือว่าเป็นไปตามข้อกำหนดในแบบ ต้องมีคุณภาพ ขนาดระยะระหว่างซี่และความยาว รวมทั้งความสะอาดของเครื่องมือกรีตหน้าตามแบบหรือตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร ในการกวาดผิวคอนกรีตต้องดำเนินการในเวลาที่เหมาะสม

ให้ทำการกวาดจากขอบพื้นข้างหนึ่ง โดยให้แนวที่กวาดแต่ละแนวทับกันเล็กน้อยและทำให้เกิดรอย กวาดบนผิวหน้าสม่ำเสมอเล็กน้อยไม่เกิน 3 มิลลิเมตรผิวหน้าที่กวาดเสร็จแล้วจะต้องไม่หยาบมาก ไม่มีรูพรุนหรือไม่ สม่ำเสมอและจะต้องอยู่ในสภาพที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร



รูปที่ 148 สภาพไม้กวาดหน้าที่ดีและการกรีดหน้าที่ถูกต้อง

ข้อควรระวัง

1. การแต่งผิวหน้าของคอนกรีตจะต้องไม่เกินช่วงที่คอนกรีตเริ่มก่อตัว
2. การกรีดหน้าคอนกรีตจะต้องทำในเวลาก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว
3. การแต่งผิวหน้าคอนกรีตที่มากเกินไปจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ขึ้นมาบนผิวหน้ามาก ส่งผลให้ผิวหน้า คอนกรีตหลุดร่อนได้ง่ายในอนาคต
4. ห้ามใช้เครื่องปั่นคอนกรีตในการแต่งหน้าคอนกรีต

5.7 ความเรียบของผิวคอนกรีต

เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วให้วัดสอบผิวหน้าคอนกรีตทั้งหมดโดยเฉพาะที่รอยต่อนั้นด้วยบรรทัดตรงยาว 3 เมตร การวัดให้วัดติดต่อกันไปโดยเลื่อนไม้บรรทัดไปที่ละ 1.5 เมตรและมีระยะเหลื่อมกัน 1.5 เมตร ถ้า ผิวหน้าตอนใดเมื่อวัดสอบในทิศทางตามยาวปรากฏว่าไม่สม่ำเสมอ หรือห่างจากขอบบรรทัดที่วัดสอบเกินกว่า 3.5 มิลลิเมตรแต่ไม่เกิน 7 มิลลิเมตร ให้ทำเครื่องหมายไว้ แล้วใช้เครื่องฝนคอนกรีตฝนออกให้ต่ำลงจนกระทั่ง ความสม่ำเสมอนั้นเหลือไม่เกิน 3.5 มิลลิเมตร

ถ้าผิวหน้าของพื้นคอนกรีตตอนใดไม่สม่ำเสมอหรือห่างจากขอบบรรทัดที่วัดสอบเกินกว่า 7 มิลลิเมตร จะต้องรื้อแผ่นพื้นคอนกรีตแผ่นนั้นยาวอย่างน้อย 3 เมตรตลอดความกว้างและความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต นั้นออกแล้วหล่อคอนกรีตใหม่โดยให้มีรอยต่อก่อสร้างตามขวางตามแบบ



รูปที่ 149 การใช้ไม้บรรทัดตรงยาว 3 เมตรวัดสอบความเรียบรอยต่อ

การใช้บรรทัดตรงลดความคลานเคลื่อนของผิวคอนกรีตทำได้โดยใช้บรรทัดตรงที่มีความยาวอย่างน้อย 4 เมตร หรือยาวมากกว่าความกว้างของช่องจราจรเพื่อให้สามารถวางพาตรระหว่างแบบก่อสร้างได้ การตรวจสอบจะต้องทำหลังจากมีการปรับแต่งผิวทางคอนกรีตแล้วเสร็จ จากนั้นรอให้ผิวทางคอนกรีตเริ่มแห้งไม่มีการเยิ้มหรือไม่มีน้ำที่ผิวจึงเริ่มใช้บรรทัดตรงทาบนผิวทางคอนกรีตเพื่อตรวจสอบความเรียบบริเวณรอยต่อและผิวทางที่ปรับแต่งเสร็จแล้ว หากพบว่าตอนใดต่ำไปให้รับเสริมและตอนใดสูงไปให้รับปาดออกจนกระทั่งผิวทางนั้นเรียบก่อนที่จะทำการกวาดผิว และในการปรับแต่งจะต้องไม่ขึ้นไปบนผิวคอนกรีตโดยตรง



การวัดสอบรอยต่อระหว่างวัน



การวัดสอบความเรียบตามแนวขวาง



การปรับแต่งผิวทางให้เรียบ



การแก้ไขจุดที่คอนกรีตไม่ได้ระดับ



การวัดสอบหลังจากปรับแต่งผิวทางแล้ว



การวัดช่องว่างด้วย Taper Gauge

รูปที่ 150 การตรวจสอบความเรียบของผิวคอนกรีตระหว่างการก่อสร้าง

ข้อควรระวัง

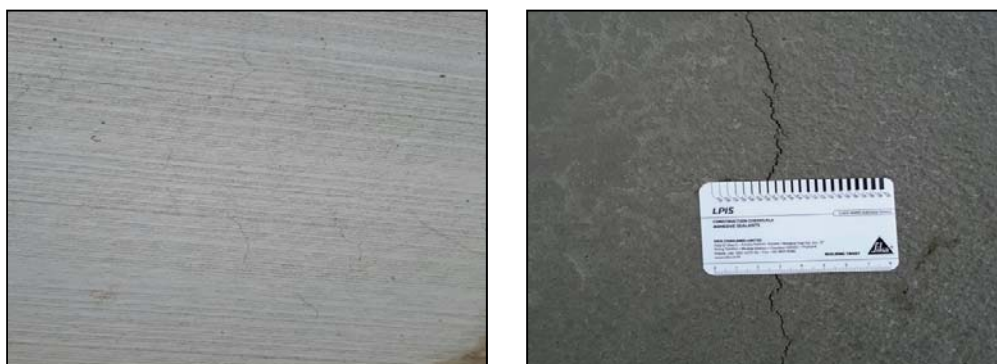
1. ควรดำเนินการตรวจสอบความเรียบของผิวทางคอนกรีตในขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัวเพื่อให้สามารถแก้ไขได้ง่าย

5.8 การบ่ม

หลังจากกวาดและแต่งคอนกรีตเสร็จ ให้รีบบ่มคอนกรีตด้วยวิธีการที่ถูกต้องและครบกำหนดเวลาด้วยวิธีอย่างหนึ่งอย่างใดตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควรเพื่อให้ได้คอนกรีตแข็งตัวและพัฒนากำลังได้สูงสุด และเพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากการสูญเสียน้ำ โดยเฉพาะในสภาพอากาศร้อนความชื้นสัมพัทธ์น้อยและมีลมแรง

การบ่มคอนกรีตด้วยวัสดุที่ใช้ประกอบการบ่มคอนกรีต ควรบ่มให้คลุมเต็มผิวหน้าพื้นคอนกรีต ถ้าปรากฏส่วนใดหลุดออกหรือสูญหายไประหว่างที่บ่ม จะต้องรีบปิดใหม่โดยทันที ในระหว่างที่บ่มห้ามปล่อยผิวหน้าของแผ่นพื้นคอนกรีตทิ้งไว้โดยไม่มีสิ่งใดปกคลุม

ในกรณีที่ยังมีน้ำไม่เพียงพอสำหรับการบ่มหรือวัสดุที่ใช้ประกอบการบ่มคอนกรีตที่หน้างานไม่เพียงพอ ก็ให้หยุดงานคอนกรีตไว้ก่อน



รูปที่ 151 รอยแตกที่เกิดการสูญเสียน้ำ

วิธีการบ่มคอนกรีต

ในการบ่มคอนกรีตจะต้องใช้ระยะเวลาในการบ่มไม่น้อยกว่า 72 ชั่วโมง ด้วยวิธีการบ่มทั้ง 4 แบบ ซึ่งแล้วแต่ความเหมาะสมตามนายช่างควบคุมงานเห็นสมควรดังต่อไปนี้

1. การบ่มด้วยการปิดคลุมผิวหน้าของแผ่นคอนกรีตด้วยผ้ากระสอบหรือผ้าฝ้าย 2 ชั้นวางทับเหลื่อมกัน ปิดคลุมไว้ ตลอดเวลาในการบ่มต้องฉีบน้ำให้เปียกชื้นตลอดการบ่ม
2. การใช้วัสดุอื่นเช่นทราย ซึ่งดูน้ำได้มากมาปิดคลุมผิวหน้าของแผ่นคอนกรีต ปิดคลุมไว้ ตลอดเวลาในการบ่มต้องฉีบน้ำให้เปียกชื้นตลอดการบ่ม
3. การขังน้ำในการบ่มคอนกรีต โดยก่อกอบให้มีน้ำขังอยู่เหนือผิวหน้าคอนกรีตไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตร ตลอดเวลาต่อเนื่อง
4. การใช้สารประกอบอย่างเหลวสำหรับเคลือบคอนกรีต จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดวัสดุและได้รับการรับรองจาก มอก. โดยการใช้งานและการเก็บรักษาให้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต



การใช้กระสอบบ่มคอนกรีต



การบ่มโดยใช้ทราย



การบ่มโดยการชังน้ำ



การใช้สารประกอบอย่างเหลวเคลือบคอนกรีต

รูปที่ 152 วิธีการบ่มคอนกรีต

5.9 การตัดรอยต่อ

รอยต่อต่าง ๆ จะต้องก่อสร้างให้เป็นไปตามแบบโดยวัสดุที่ใช้ก่อสร้างรอยต่อต้องอยู่ในสภาพที่ถูกต้องเรียบร้อย เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อการเตรียมรอยต่อก่อนการเทคอนกรีต ซึ่งการใช้เครื่องตัดให้เป็นร่องลงไปจากผิวของคอนกรีตเพื่อทำให้เกิดร่นาบที่มีความแข็งแรงน้อยลง เป็นการนำให้รอยแตกไปเกิดในจุดที่เป็นรอยต่อ

การตัดรอยต่อต้องใช้เครื่องตัดคอนกรีต (Slot Cutting Machine) เท่านั้น ห้ามฝังโฟม ไม้ หรือ ใช้ใบมีดกรวมทั้งใช้ในการกรีดนำร่องโดยเด็ดขาด โดยที่เครื่องตัดรอยต่อจะต้องมีกำลังสูงเพียงพอสามารถตัดให้ได้ความลึกตามต้องการได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้ใบเลื่อยหัวเพชรหรือใบเลื่อยกลมชนิดแข็งมีน้ำหล่อเลี้ยงขณะตัด และควรจัดเตรียมเครื่องตัดรอยต่ออีกเครื่องหนึ่งสำรองไว้ในขณะที่ทำงานตัดรอยต่อ



ต้องมีน้ำหล่อเลี้ยงขณะตัด



การเกิดรอยแตกตรงจุดที่ตัด

รูปที่ 153 การตัดรอยต่อด้วยเครื่องตัดคอนกรีต



ห้ามใช้การฝังโฟม



ห้ามใช้เหล็กกดนำร่อง

รูปที่ 154 การทำรอยต่อที่ไม่ถูกต้อง

ข้อแนะนำโดยปกติให้เริ่มทำการตัดเพื่อทำรอยต่อเพื่อหดในระหว่าง 6 – 24 ชั่วโมงหลังเทคอนกรีตแล้ว โดยช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตัดรอยต่อคือหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัว การตัดรอยต่อเร็วเกินไปจะทำให้รอยต่อคอนกรีตป็นและไม่เรียบเนื่องจากการพัฒนากำลังของคอนกรีตยังไม่เพียงพอ การตัดช้าเกินไปจะทำให้เกิดรอยแตกไม่ตรงตามตำแหน่งที่ต้องการเนื่องจากคอนกรีตมีการยืดยึดหดตัว

การตัดรอยต่อควรมีการตัดนำร่องครั้งแรกหลังจากคอนกรีตแข็งตัว โดยขนาดของรอยตัดครั้งแรกจะมีความกว้าง 3 มิลลิเมตร และมีความลึกตามที่กำหนดในแบบหรือคำแนะนำของนายช่างผู้ควบคุมงานจากนั้นต้องตัดครั้งที่สองภายใน 12 ชั่วโมง โดยที่รอยตัดจะต้องมีความกว้างและความลึกตามแบบก่อสร้างที่กำหนด

ข้อควรระวัง การป็นของรอยต่อคอนกรีตมีสาเหตุสำคัญมาจากกำลังของคอนกรีตบริเวณรอยต่อต่ำกว่าบริเวณอื่น อันเป็นผลมาจากทำรอยต่อโดยไม่ใช้เลื่อยตัด หรือรอยต่อป็นของรอยต่ออาจมีสาเหตุมาจากรอยต่อไม่เรียบ ทำให้เกิดแรงกระแทกระหว่างล้อรถกับผิวคอนกรีต อันเป็นเหตุให้ผิวหน้าคอนกรีตแตกได้ นอกจากนี้ควรมีคนคอยทำความสะอาดและกวาดหน้าเพื่อให้สามารถตัดรอยต่อได้ตรง



รูปที่ 155 ลักษณะของรอยต่อ

รอยต่อทุกรอยให้วัดสอบด้วยบรรทัดตรงก่อนที่คอนกรีตนั้นแข็งตัวและให้ทำการแก้ไขถ้าขอบข้างหนึ่งของรอยต่อสูงกว่าอีกข้างหนึ่งหรือถ้ารอยต่อสูงหรือต่ำกว่าแผ่นพื้นคอนกรีตที่อยู่ข้างเคียงรอยต่อนั้น



รูปที่ 156 ขนาดของรอยตัด



รูปที่ 157 คอนกรีตแตกไม่ตรงรอยตัด

ข้อควรระวัง - ห้ามฝังโคม ไม้ หรือ ใช้ใบมีดกรรบทั้งใช้ในการกรีดนำร่องโดยเด็ดขาดให้ใช้เครื่องตัดคอนกรีตเท่านั้น - ช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตัดรอยต่อ คือหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัว - การบิ่นของรอยต่อคอนกรีตมีสาเหตุสำคัญมาจากกำลังของคอนกรีตบริเวณรอยต่อต่ำกว่าบริเวณอื่น อันเป็นผลมาจากทำรอยต่อโดยไม่ใช้เลื่อยตัด หรือรอยต่อบิ่นของรอยต่ออาจมีสาเหตุมาจากรอยต่อไม่เรียบ ทำให้เกิดแรงกระแทกระหว่างล้อรถกับผิวคอนกรีต อันเป็นเหตุให้ผิวหน้าคอนกรีตแตกได้ - ควรทำความสะอาดรอยต่อในระหว่างการตัดรอยต่อ เพื่อให้ตัดรอยต่อได้ตรง	
ปัญหาที่พบได้บ่อย การแตกของคอนกรีตไม่ตรงกับรอยตัดของรอยต่อคอนกรีต	แนวทางการแก้ไข ควรตัดคอนกรีตหลังการแข็งตัว โดยมีการนำร่องและตามด้วยรอยต่อจริงตามระยะเวลาที่ถูกต้อง

5.10 วัสดุยารอยต่อ

หลังจากที่ได้บ่มคอนกรีตไว้ครบกำหนดเวลาแล้วให้ดำเนินการยาแนวรอยต่อทั้งหมดโดยเร็ว

1. การเตรียมรอยต่อ

ก่อนจะทำการลงวัสดุยารอยต่อ รอยต่อจะต้องแห้งปราศจาก ฝุ่น กรวด ทรายและจะต้องขจัดซีเมนต์ส่วนเกินออกจากผนังรอยต่อให้หมดและเป่าด้วยลมแรงที่แห้ง เพื่อให้วัสดุยารอยต่อติดกับผนังรอยต่ออย่างแน่นหนาไม่มีช่องว่าง



รูปที่ 158 การทำความสะอาดรอยต่อก่อนยารอยต่อ

2. การทาแนวรอยต่อด้วยวัสดุทารอยต่อ (Joint Primer)

ให้เคลือบผิวรอยต่อด้วยวัสดุทารอยต่อ (Joint Primer) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างวัสดุยารอยต่อกับคอนกรีตในขั้นตอนต่อไปโดยอาจจะใช้แปรงทาหรือจะใช้เครื่องพ่นพ่นวัสดุทารอยต่อเข้าไปในรอยต่อก็ได้

ก่อนที่จะหยอดวัสดุยารอยต่อจะต้องรอให้วัสดุทารอยต่อแห้งสนิทเสียก่อน ซึ่งอาจจะต้องใช้เวลานาน 4 - 24 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและคุณสมบัติของวัสดุทารอยต่อนั้น ๆ



รูปที่ 159 การทาวัสดุทารอยต่อ

3. การหยอดวัสดุรอยต่อ (Joint Sealer)

อุณหภูมิในขณะที่หยอดวัสดุรอยต่อให้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตวัสดุรอยต่อนั้น ๆ การหยอดวัสดุรอยต่อจากถังต้มให้กระทำให้เสร็จโดยเร็วที่สุด ก่อนเริ่มงานหยอดใหม่ในแต่ละครั้ง จะต้องเผื่อหัวสำหรับหยอดให้ร้อน เพื่อละลายวัสดุเก่าที่เกาะติดอยู่ออกให้หมด

ในการหยอดวัสดุรอยต่อ จะต้องให้ความร้อนวัสดุรอยต่อ โดยใช้ถังต้ม 2 ชั้นโดยมีน้ำมัน หรือของเหลวอื่นใดเป็นตัวกลางระหว่างชั้น เพื่อให้อุณหภูมิของวัสดุรอยต่อสม่ำเสมอโดยทั่วกัน ถังต้มวัสดุรอยต่อจะต้องมีเทอร์โมมิเตอร์ติดไว้เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิทั้งขณะต้มและขณะหยอด ห้ามให้ความร้อนโดยตรงในการอุ่นหรือต้มวัสดุรอยต่อเด็ดขาด



รูปที่ 160 ถังต้มที่ให้ความร้อนวัสดุรอยต่อ

การหยอดวัสดุรอยต่อ อุณหภูมิขณะที่หยอดวัสดุรอยต่อให้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต ระดับการหยอดต้องต่ำกว่าของรอยต่อเล็กน้อย ตามแบบมาตรฐาน 5 ± 1 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันมิให้วัสดุรอยต่อทะลักขึ้นมาบนผิวคอนกรีตภายหลังการเปิดการจราจรแล้ว



รูปที่ 161 การหยอดวัสดุรอยต่อ

ข้อควรระวัง 1. ควรทำความสะอาดรอยต่อก่อนดำเนินการหยอดวัสดุารอยต่อ 2. ห้ามให้ความร้อนโดยตรงในการอุ่นหรือต้มวัสดุารอยต่อเด็ดขาด 3. ควรระมัดระวังอุณหภูมิของวัสดุารอยต่อให้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต	
ปัญหาที่พบได้บ่อย 1. หยอดวัสดุารอยต่อล้น ทำให้วัสดุารอยต่อจะหลุดภายหลังจากเปิดการจราจรแล้ว	แนวทางการแก้ไข 1. ควรจะระมัดระวังขณะหยอดวัสดุารอยต่อให้ต่ำกว่ากับความลึกของรอยต่อเพียงเล็กน้อย

5.11 การเปิดการจราจร

สามารถเปิดการจราจรได้เมื่อคอนกรีตอายุไม่น้อยกว่า 14 วัน แต่ในกรณีที่จำเป็น เช่น บริเวณทางแยกและทางเชื่อมอาจยอมให้เปิดการจราจรได้ถ้าค่ากำลังรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตได้ไม่ต่ำกว่าที่กำหนดในแบบและมีการก่อสร้างรอยต่อแล้วเสร็จ พร้อมทั้งได้รับอนุญาตจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว การเปิดการจราจรให้รถบรรทุกหนักผ่านเร็วเกินไปอาจทำให้คอนกรีตเสียหายได้



รูปที่ 162 ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

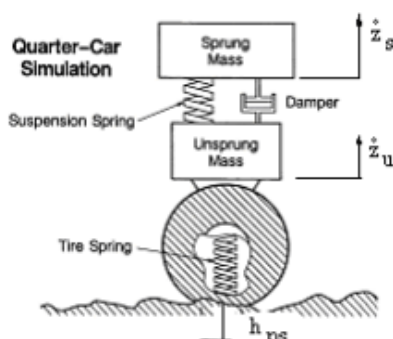
ส่วนที่ 6

การสำรวจค่าความเรียบของถนน

การสำรวจความเรียบของถนน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนและใช้พิจารณา ร่วมในการตัดสินใจในงานบำรุงรักษาสภาพทาง ให้ถนนอยู่ในสภาพที่ผู้ใช้ทางได้รับความสะดวกสบายในการขับขี่ ทั้งยังส่งผลถึงการประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายค่าเชื้อเพลิงและการบำรุงรักษาสภาพรถยนต์ด้วย การสำรวจความเรียบของถนนให้ผลลัพธ์ในรูปของค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) มีหน่วยเป็น เมตร/กิโลเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ถูกใช้เป็นมาตรฐานในการชี้วัดค่าความเรียบของถนน

หลักการของค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI)

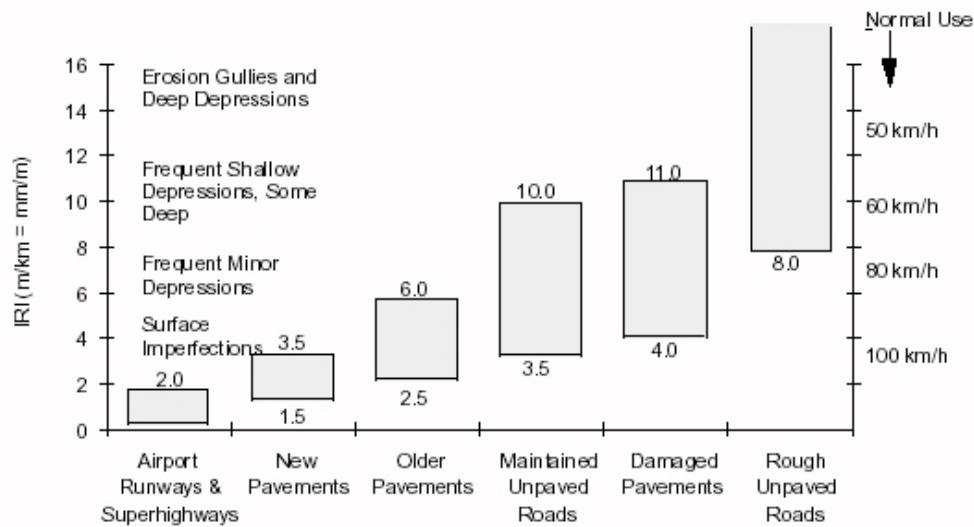
ดัชนีความขรุขระสากล ซึ่งเรียกว่า IRI (International Roughness Index) เป็นค่าที่ถูกใช้เป็นมาตรฐานในการวัดค่าความเรียบของถนน โดยค่า IRI ซึ่งมีหน่วยเป็น m/km เป็นคุณลักษณะที่สำคัญของผิวทาง เนื่องจาก ค่า IRI ไม่เพียงส่งผลต่อคุณภาพในการขับขี่ยานพาหนะ แต่ยังส่งผลต่อต้นทุนเวลาในการเดินทาง, การบริโภคน้ำมันและค่าบำรุงรักษายานพาหนะด้วย



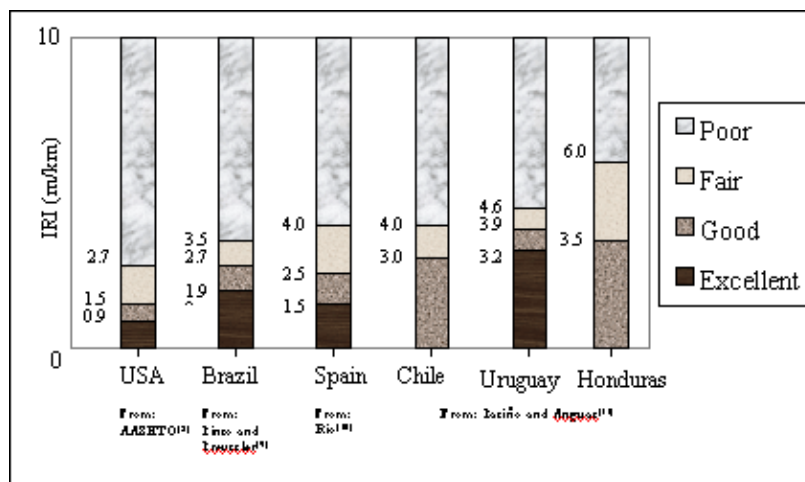
รูปที่ 163 Quarter Car Simulation

IRI มีที่มาจากงานวิจัยของ IRRE , The International Road Roughness Experiment ในปี 1980 ที่ประเทศบราซิล โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาค่าดัชนีที่ใช้วัดค่านัยสำคัญของโครงการทั่วโลกได้ ซึ่ง หลักการคำนวณ ค่า IRI ใช้หลักการจำลอง Quarter Car Simulation (QCS) แสดงในรูปที่ 163 วิ่งไปด้วยความเร็วคงที่ 80 กม./ชม. ความเรียบหรือความขรุขระของผิวทางที่รถวิ่งผ่านจะส่งผลทางพลศาสตร์ต่อ QCS ทำให้เกิดความเร่งหรือความแรงในแนวดิ่งที่แตกต่างกันของส่วน Sprung Mass และส่วน Unsprung Mass ซึ่งก็คือ การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างตัวถังรถกับเพลลาของรถ โดยค่า IRI เป็นค่าอัตราส่วนของการเคลื่อนที่สัมพัทธ์สะสมในแนวดิ่งต่อระยะทางที่รถวิ่ง

ในการประมวลผลหาค่า IRI ในทางปฏิบัติ อ้างอิงตาม ASTM E1926 – 08 (2015) Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements โดยใช้ค่า Longitudinal Profile เป็นข้อมูลสำหรับประมวลผลได้ค่า IRI โดยถนนที่มีสภาพความเรียบที่ดี ต้องมีค่า IRI ต่ำ และค่า IRI จะเพิ่มขึ้นเมื่อถนนมีความขรุขระ ในรูปที่ 164 แสดงช่วงค่า IRI ของประเภทถนน ในรูปที่ 165 แสดงตัวอย่างเกณฑ์ค่า IRI ของถนนในประเทศต่าง ๆ และรูปที่ 166 แสดงเกณฑ์ค่า IRI ของถนนในประเทศไทยที่สำนักวิศวกรรมและตรวจสอบใช้



รูปที่ 164 IRI Roughness Scale (replotted from Sayers et al., 1986)



รูปที่ 165 ตัวอย่างเกณฑ์ ค่า IRI สำหรับถนนในต่างประเทศ

เกณฑ์แนะนำการประเมินความเรียบของถนน	
IRI (m/Km)	สภาพความเรียบ
1.0 – 2.5	ดีมาก
2.5 – 3.5	ดี
3.5 – 4.5	พอใช้
> 4.5	ต้องปรับปรุง

รูปที่ 166 เกณฑ์ ค่า IRI สำหรับถนนในประเทศไทย (สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ)

เครื่องมือและเทคนิคที่ใช้ในการสำรวจความเรียบ

ASTM ได้จัดแบ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่า IRI ออกเป็น Class ตามระดับประสิทธิภาพของเครื่องมือ โดยได้จำแนกเครื่องมือออกเป็น 4 กลุ่ม ตามมาตรฐาน ASTM E 950 - 94 ดังนี้

1. เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class I

เครื่องมือตรวจวัดค่า IRI ที่ได้ผลของการตรวจวัดมีความแม่นยำในระดับสูง ใช้หลักการวัดค่า Longitudinal Profile ของถนนเพื่อประมวลผลโมเดลทางคณิตศาสตร์เป็นค่า IRI ได้โดยตรง เช่นเครื่องมือ Laser Profiler, Dipstick Profiler, Walking Profiler เป็นต้น มีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเครื่องมือ Class อื่น ๆ

2. เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class II

เครื่องมือตรวจวัดค่า IRI ที่มีความแม่นยำน้อยกว่าเครื่องมือตรวจวัดระดับ Class I เครื่องมือที่นิยมใช้งานประกอบด้วย APL Profilographs, Optical Profilers และ Inertial Profilers (GMR)

3. เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class III

เครื่องมือตรวจวัดที่มีการคำนวณค่า IRI จากสมการที่สอบเทียบขึ้น โดยทำการเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดค่า IRI ที่มีความแม่นยำสูงก่อนการนำมาใช้งานจริง เครื่องมือที่นิยมใช้งาน ประกอบด้วย Bump Integrator อุปกรณ์ที่จัดอยู่ใน Class III ส่วนมากประยุกต์ใช้งานด้วยการติดตั้งในยานพาหนะ มีลักษณะเด่นคือใช้งานง่าย ราคาถูก ทนทาน และบำรุงรักษาง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือใน Class อื่น ทำให้เครื่องมือในระดับ Class III ได้รับความนิยมเลือกใช้งานสูง

4. เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class IV

เครื่องมือที่มีข้อจำกัดในการประมวลผล ไม่มีการปรับแก้ค่าเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ชนิดอื่น ก่อนนำมาใช้งานจริง ประกอบด้วย Key Code Rating Systems , Visual Inspection และ Ride Over Section เนื่องจากความละเอียด ความแม่นยำของข้อมูลมีน้อย เครื่องมือตรวจวัด ระดับ Class IV จึงไม่ได้รับความนิยมเลือกใช้งานมากนัก

เครื่องมือและเทคนิคที่ใช้ในการสำรวจความเรียบของถนน แบ่งออกเป็น 2 หลักการได้แก่

1. เครื่องมือสำรวจความเรียบที่ใช้เทคนิคการเก็บข้อมูล Profile โดยตรง และนำค่าข้อมูลมาคำนวณค่า IRI ได้ เรียกว่า Profiling Devices ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ถูกออกแบบให้สามารถวัดค่า Profile ของถนน ตามระยะห่างที่ต้องการได้ เครื่องมือมีหลายแบบ และสามารถใช้ในการ Calibrate เครื่องมือสำรวจความเรียบชนิดอื่นที่ไม่สามารถสำรวจ Profile ได้โดยตรง เครื่องมือชนิดนี้มีราคาแพงและมีการทำงานที่ซับซ้อน ตัวอย่างของเครื่องมือชนิดนี้ได้แก่เครื่องมือ Laser Profilometer เครื่องมือมีการทำงานโดยใช้แสงเลเซอร์ ทำหน้าที่วัดค่าระยะห่างจากผิวทางถึงหัวเลเซอร์ Accelerometer ติดตั้งที่ตัวรถเพื่อวัดการเคลื่อนที่ของตัวถังรถ โดยการเคลื่อนที่รถที่การเคลื่อนที่ระหว่าง Accelerometer ที่ติดตั้งที่คานหลังของรถ กับ Profile ของถนน ด้วยหลักการนี้ ช่วยให้เครื่องมือสามารถทำงานได้โดยไม่ขึ้นกับสภาพทางกายภาพรถ หรือ

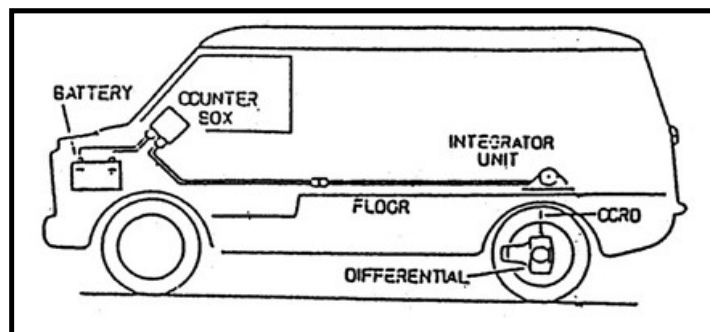
ระดับความเร็ว แต่จะมีข้อด้อย จากการผิดพลาดในการสำรวจความเรียบถนนบริเวณที่มีผิวมัน หรือมีฟิล์ม น้ำฝนบนถนน และไม่สามารถใช้งานได้ในถนนที่ไม่มีชั้นผิวทาง



รูปที่ 167 เครื่องมือ Laser Profilometer

2. เครื่องมือสำรวจความเรียบที่ใช้เทคนิคการเก็บข้อมูลที่ไม่ใช่ Profile และข้อมูลที่ได้ไม่สามารถนำไปคำนวณค่า IRI ได้โดยตรง แต่ต้องนำไปสอบเทียบหาสมการสำหรับค่า IRI เช่น Response type road roughness meters (RTRMs) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในงานประจำสำหรับการสำรวจความเรียบของโครงข่ายถนน เพื่อหาภาพรวมของสภาพของโครงข่ายถนน โดยผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำไปใช้ชี้วัดสภาพของโครงข่ายถนนและความต้องการบำรุงรักษา

RTRMs วัดค่าการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของเพลาลงกับตัวถังของยานพาหนะ โดยเครื่องมือที่ถูกติดตั้งบนตัวรถจะมีตัววัดค่าสัญญาณการเคลื่อนที่ติดไว้กับเพลาลง ตัวอย่างเครื่องมือชนิดนี้คือ Bump Integrator ดังแสดงในรูปที่ 168 ที่ติดตั้งชุดรอกและลวดสลิง ไว้ที่กระบะและเพลาลง เครื่องมือชนิดนี้จำเป็นต้องมีการปรับเทียบกับเครื่องมือชนิด Profile Device เพื่อหาสมการที่เหมาะสมในการคำนวณค่า IRI สำหรับรถคันที่ติดตั้งเครื่องมือและระดับความเร็วที่ใช้ในการสำรวจ เนื่องจากเครื่องมือประเภทนี้ ความถูกต้องในการสำรวจจะขึ้นอยู่กับ สภาพทางกายภาพของรถ, ลักษณะการใช้รถ และความเร็วที่ใช้สำรวจ



รูปที่ 168 เครื่องมือ BUMP Integrator

เครื่องมือวัดค่า IRI ที่ใช้ในปัจจุบันของกรมทางหลวง

กรมทางหลวงใช้เครื่องมือตรวจวัดค่า IRI 2 ประเภท ได้แก่

1. เครื่อง Laser Profiler

เป็นเครื่องมือหาค่า IRI ที่มีความละเอียดสูง ใช้หลักการวัดค่า Longitudinal Profile ของถนนที่บริเวณร่องล้อทั้ง 2 ข้าง และนำไปประมวลผลโมเดลทางคณิตศาสตร์ได้ค่า IRI ได้โดยตรง โดยเครื่องมือหลักประกอบด้วยหัว Laser ความถี่สูง ติดตั้งที่ตำแหน่งร่องล้อด้านหน้ารถ หรือด้านท้ายรถ ทั้ง 2 ข้าง ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยมีชุด Accelerometer สำหรับปรับแก้ค่าการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่งของรถติดตั้งมาพร้อมด้วย ส่งผลให้การตรวจวัดค่า IRI ด้วยเครื่องมือชนิดนี้มีความถูกต้องแม่นยำ ไม่มีข้อจำกัดจากปัจจัยด้านสภาพของรถที่ติดตั้งเครื่องมือและความเร็วในการวิ่งรถทดสอบ ในปัจจุบันกรมทางหลวงมีเครื่องมือชนิดนี้อยู่ 2 ชุด



รูปที่ 169 เครื่องมือ Laser Profiler

หลักการทำงานของเครื่องมือวัดความเรียบชนิด Laser Profilometer

เครื่องมือ Laser Profilometer ดังแสดงในรูปที่ 169 เป็นเครื่องมือใช้สำหรับสำรวจความเรียบของถนนชนิด Profiling Device ที่มีความคล่องตัวในการทำงานสูง กล่าวคือสามารถวัดค่าความเรียบของถนนอย่างต่อเนื่องได้ระยะทางมาก ๆ ใช้เวลาน้อย แต่ให้ค่าความแม่นยำสูง โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวเก็บข้อมูลและประมวลผล

เครื่องมือ Laser Profilometer ที่ส่วนสำรวจและประเมินสภาพทางมีอยู่จำนวน 1 ชุด เป็นเครื่องมือ Laser Profilometer ชนิดควบคุมการทำงานทั้งหมดผ่านโปรแกรม ROMDAS บนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมีชุดเครื่องมือติดตั้งที่คานของรถยนต์ เพื่อวัดค่าระดับความสูงของเครื่องมือและความเร่งในแนวดิ่งของเครื่องมือ ตามแนวร่องล้อซ้ายและขวาที่รถเคลื่อนที่ผ่าน โดยเครื่องมือสามารถตั้งช่วงการเก็บข้อมูลได้ละเอียดถึง 25 มม. ที่ความเร็วในการวิ่งรถทดสอบในช่วง 20 – 80 กม./ชม. และสามารถใช้ความเร็วในการ

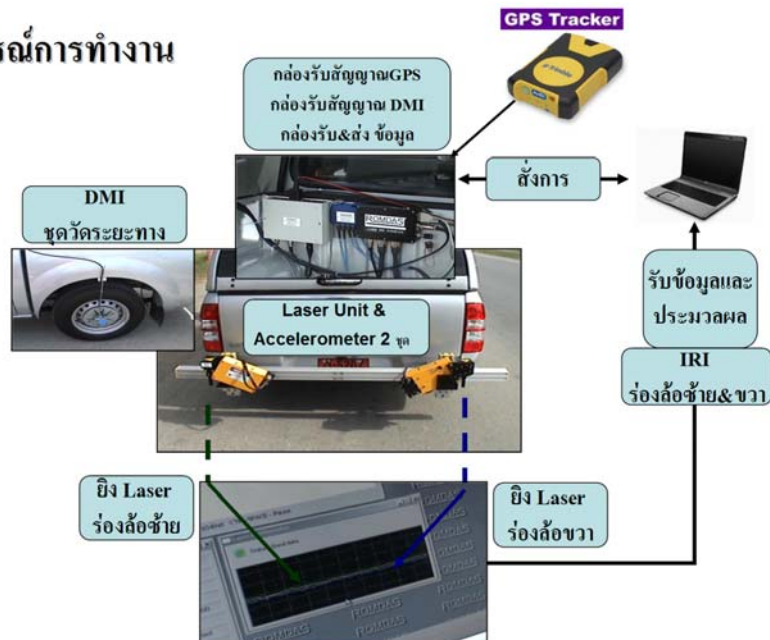
วิ่งรถทดสอบได้สูงถึง 120 กม./ชม. เมื่อตั้งค่าช่วงการเก็บข้อมูลมากกว่า 37.5 มม. ขึ้นไป โดยมีความละเอียดในการวัดค่า 0.025 มม. และสามารถหาค่า IRI ได้ละเอียด +/- 0.01 ม./กม.

ส่วนประกอบของเครื่องมือ Laser Profilometer

เครื่องมือ Laser Profilometer ประกอบด้วยอุปกรณ์การทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 170 ที่สำคัญดังนี้

- 1) Laser Unit และ Accelerometer จำนวน 2 ชุด เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุด โดยภายในชุด Laser Unit จะประกอบด้วย
 - หัวยิงเลเซอร์ ที่ทำหน้าที่วัดระยะทางจากระดับพื้นอ้างอิง กับ Laser Unit โดยที่ระดับพื้นอ้างอิงสำหรับการติดตั้ง Laser Unit เท่ากับ 430 มม. และสามารถอ่านค่าได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงของระดับ Laser Unit เนื่องจากการเคลื่อนไหวของระบบกันสะเทือนรถ +/- 138 มม. (356 มม.)
 - Accelerometer ติดตั้งอยู่ใน Laser Unit เพื่อวัดค่าความเร่งสัมพัทธ์ของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของ Laser Unit ที่ความเร็วของการทดสอบ ช่วยให้รถที่ติดตั้งเครื่องมือสามารถวิ่งทดสอบได้ในช่วงความเร็ว 20 – 120 กม./ชม.
- 2) คานสำหรับติดตั้งเครื่อง Laser Unit เป็นคานยาวที่มีตัวปรับความสูงสำหรับติดตั้ง Laser Unit ให้มีความสูงจากระดับพื้นอ้างอิง และมีตัวปรับเลื่อนซ้ายขวาสำหรับปรับ Laser Unit ให้หัวยิงเลเซอร์ตรงกับแนวร่องล้อรถซ้ายและขวา โดยคานติดตั้งเครื่องมือสามารถติดตั้งได้ทั้งด้านหน้ารถหรือด้านท้ายรถตามความเหมาะสมในการใช้งาน
- 3) เครื่องรับ GPS สำหรับหาพิกัดทางภูมิศาสตร์ ของตำแหน่งการทำงานของเครื่องมือ โดยสามารถทำการเก็บค่าได้ละเอียดที่สุด ทุก ๆ 5 เมตร ตัวเครื่องรับ GPS โดยปรกติถูกติดตั้งไว้ภายในรถ
- 4) DMI Odometer ความละเอียดสูง เป็นเครื่องวัดระยะทางที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับการนำไปใช้งานที่จำเป็นต้องใช้ความเที่ยงตรงของระยะทางสูง โดยมีความละเอียดสูงประมาณ 0.007 เมตร
- 5) กล้องรับสัญญาณGPS, กล้องรับสัญญาณ DMI, กล้องรับ&ส่ง ข้อมูล สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ และสายสัญญาณต่าง ๆ
- 6) คอมพิวเตอร์และโปรแกรม ROMDAS สำหรับควบคุมและเก็บข้อมูลการทดสอบ โดยผู้ใช้สามารถสั่งโปรแกรม ROMDAS ให้คำนวณค่า IRI ออกมาได้หลังจากเสร็จการทดสอบ

อุปกรณ์การทำงาน



รูปที่ 170 เครื่องมืออุปกรณ์การทำงาน

2. เครื่อง Bump Integrator

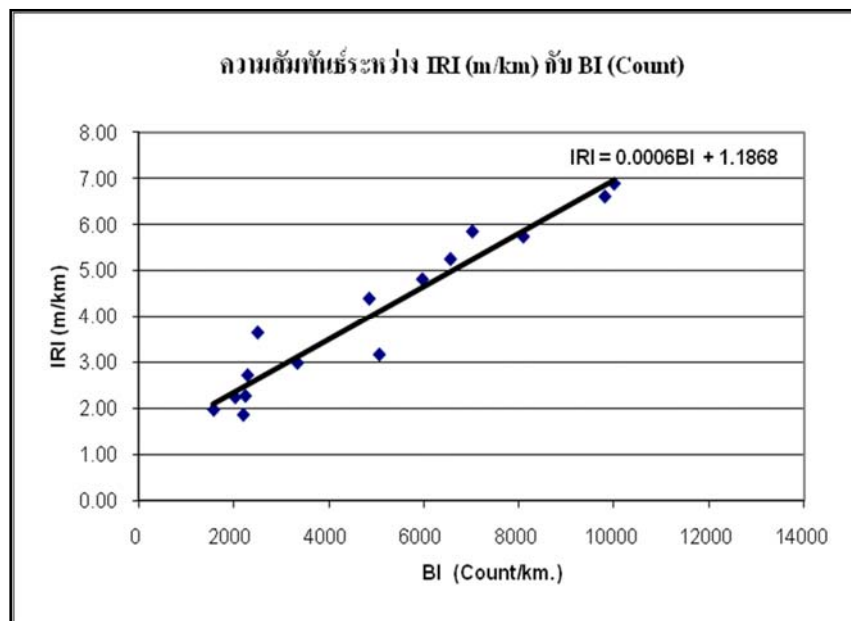
เป็นเครื่องมือหาค่า IRI ที่ไม่ได้วัดค่า longitudinal Profile สำหรับประมวลผลโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่า IRI โดยตรง แต่ใช้หลักการวัดค่าสัญญาณการขึ้นลงสะสมของเพลารถยนต์ที่วิ่งต่อระยะทาง แล้วนำไปเทียบค่าในสมการที่ได้สอบเทียบค่ากับเครื่องมือ Laser Profiler ทำให้ได้ผลค่า IRI ซึ่งมีข้อจำกัดในการใช้งานตามสภาพของรถที่ใช้ทดสอบและความเร็วที่ใช้ โดยเครื่องมือหลักประกอบด้วยชุด Integrator Unit ที่ติดตั้งบริเวณตัวถังรถเชื่อมต่อสายลวดสลิงไปที่เพลารถ สำหรับวัดสัญญาณการขึ้นลงของเพลารถ ดังแสดงในรูปที่ 171 ซึ่งในปัจจุบัน กรมทางหลวงมีเครื่องมือประเภทนี้อยู่ 5 ชุด



รูปที่ 171 เครื่องมือ Integrator Unit

หลักการเปรียบเทียบสมการค่า IRI ของเครื่องมือ Bump Integrator

เครื่องมือวัดความเรียบของถนนชนิด Bump Integrator สำหรับวัดความเรียบของถนนได้ค่า BI ซึ่งค่าที่ได้เป็นค่าที่ทดสอบได้จากรถยนต์โดยเฉพาะยังไม่ได้มาตรฐาน ต้องนำรถยนต์ไปสอบเทียบกับเครื่องมือชนิดอื่น เช่นเครื่องมือวัดความเรียบชนิด Laser Profilometer หรือเครื่องมือวัดความเรียบชนิด Profile Device ชนิดอื่น ๆ เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่า BI และ IRI สำหรับใช้ประมวลค่า IRI ของถนน เมื่อรถ Bump Integrator วิ่งด้วยความเร็ว 35 และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 172 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง IRI และ BI

$$IRI = a + b \times BI$$

IRI = International Roughness Index (ค่าดัชนีความขรุขระสากล) มีหน่วยเป็น m./km.

A = ค่าคงที่ และ B = ค่าสัมประสิทธิ์

คำสั่งแต่งตั้ง

คณะกรรมการโครงการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ชุมชนนักปฏิบัติ



คำสั่งสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

ที่ สว/ ๑ /๒๕๖๐

เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานโครงการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ชุมชนนักปฏิบัติ

การควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทางสำหรับการก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

ตามที่สำนักฯ มีนโยบายให้จัดกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ชุมชนนักปฏิบัติ เพื่อระดม ความคิดเห็น และแสวงหาความรู้ เทคนิค และประสบการณ์ต่าง ๆ จากผู้เชี่ยวชาญ ผู้ปฏิบัติงาน หรือผู้ที่เกี่ยวข้องนั้น กลุ่มงาน ตรวจสอบและแนะนำวัสดุสร้างทางได้เสนอจัดทำโครงการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ชุมชนนักปฏิบัติ เรื่อง การควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทางสำหรับการก่อสร้างถนนคอนกรีต ในการนี้สำนักฯ จึงแต่งตั้งคณะทำงานฯ ดังมีรายชื่อต่อไปนี้

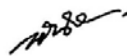
๑. ผู้อำนวยการสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ			ประธานที่ปรึกษา
๒. นายประเสริฐ บุญรักษา	วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ		รองประธานที่ปรึกษา
๓. ผู้อำนวยการกลุ่มงานตรวจสอบและแนะนำวัสดุสร้างทาง			รองประธานที่ปรึกษา
๔. ผู้อำนวยการส่วนออกแบบและนำโครงสร้างชั้นทาง			รองประธานที่ปรึกษา
๕. นายสมพร ฤทธิโรจน์	วิศวกรโยธานาฎการพิเศษ		ประธานคณะกรรมการ
๖. นายปรนิท จิตต์อารีกุล	วิศวกรโยธานาฎการพิเศษ		รองประธานคณะกรรมการ
๗. นายชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์	วิศวกรโยธานาฎการ		รองประธานคณะกรรมการ
๘. นายฉัตรชัย จันท	วิศวกรโยธานาฎการ		รองประธานคณะกรรมการ
๙. นายสุชุม พงษ์หาญพจน์	นายช่างโยธาวาสุ		คณะกรรมการ
๑๐. นายวรายุธ เสริฐศรี	นายช่างโยธาวาสุ		คณะกรรมการ
๑๑. นายกิจจา เจริญพัทธร	วิศวกรโยธานาฎการ		คณะกรรมการ
๑๒. นายศักดิ์ชัย ปราบมะเริง	วิศวกรโยธานาฎการ		คณะกรรมการ
๑๓. นายชาโน พยงค์ศรี	วิศวกรโยธานาฎการ		คณะกรรมการ
๑๔. นายณรงค์ชัย เกษมใจ	นายช่างโยธานาฎงาน		คณะกรรมการ
๑๕. นายวัลลภ ยอดคำมี	นายช่างโยธานาฎงาน		คณะกรรมการ
๑๖. นายพงษ์ศักดิ์ โพธิ์ลา	นายช่างโยธานาฎงาน		คณะกรรมการ
๑๗. นายสมัย คุณประเสริฐ	นายช่างโยธานาฎงาน		คณะกรรมการ
๑๘. นายพิทักษ์ เชื้อจันทิก	นายช่างโยธานาฎงาน		คณะกรรมการ
๑๙. นายพรชัย คุ่มบุญน้อย	นายช่างโยธานาฎงาน		คณะกรรมการ
๒๐. นายเอกสิทธิ์ สละ	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ		คณะกรรมการและเลขานุการ
๒๑. น.ส.กุลธณันท์ กมลธรรม	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ		คณะกรรมการและผู้ช่วย เลขานุการ
๒๒. นายเจษฎา ถิรพงศ์พันธ์	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ		คณะกรรมการและผู้ช่วย เลขานุการ

๒๓. นายนันทวุฒิ	บุญอินทร์	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	คณะทำงานและผู้ช่วย เลขานุการ
๒๔. น.ส.สรวงแสง	ชัยเกษตรสิน	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	คณะทำงานและผู้ช่วย เลขานุการ
๒๕. น.ส.สุพรรณวดี	ศิริโสม	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	คณะทำงานและผู้ช่วย เลขานุการ
๒๖. นายธนภัทร	ศรภักดี	นักจัดการงานทั่วไปชำนาญการ	คณะทำงานและ ผู้ช่วยเลขานุการ
๒๗. น.ส.ธีรนุช	จาบประไพ	นักวิชาการสถิติปฏิบัติการ	คณะทำงานและผู้ช่วย เลขานุการ
๒๘. น.ส.จุฑารัตน์	บัวทองรังสีมา	นักวิชาการสถิติปฏิบัติการ	คณะทำงานและผู้ช่วย เลขานุการ

อำนาจหน้าที่

๑. กำหนดขอบเขตของเนื้อหาและรายละเอียดโดยพิจารณาให้ครอบคลุมและเหมาะสม
๒. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
๓. สรุปและจัดทำเอกสารเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงาน

สั่ง ณ วันที่ ๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๐



(นายพินิจ แก้วมาตุณ)

ผู้อำนวยการสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

เอกสารอ้างอิง

- กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. มีนาคม 2549. รายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรมทางหลวง, กรุงเทพมหานคร.
- กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. กันยายน 2550. คู่มือการควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 4 การควบคุมคุณภาพวัสดุ. กรมทางหลวง, กรุงเทพมหานคร.
- กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. ข้อกำหนดวัสดุ (ทล.-ก.). กรุงเทพมหานคร. (ออนไลน์). แหล่งที่มา <http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/03/dhsp201-44.pdf> และ <http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/03/dhsp202-44.pdf> . สิงหาคม 2560
- กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. มาตรฐานงานทาง (ทล.-ม.). กรุงเทพมหานคร. (ออนไลน์). แหล่งที่มา <http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs309-44.pdf> , <http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs211-33.pdf> และ <http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs212-33.pdf> . สิงหาคม 2560
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. พฤษภาคม 2549. ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่พิเศษ. สมาคมคอนกรีตไทย.
- มาตรฐานการออกแบบโดยวิธีสมรรถนะและความคงทนของ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก. กรุงเทพมหานคร. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.dpt.go.th/seminar/16072007/Durability.pdf> . สิงหาคม 2560.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2555. แก๊ซมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ (แก้ไขครั้งที่ 1). มอก. 15 เล่ม 1-2547.
- สุวิมล สัจจาณิชย์. ๒๕๕๙. แหล่งหินที่มีแนวโน้มการเกิดปัญหาอัลคาไลซิลิกา . กรุงเทพมหานคร. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www3.rdi.ku.ac.th/?p=27245> . สิงหาคม 2560
- Patchra Personal Library. แรโดโลไมท์ (Dolomite). (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.patchra.net/minerals/MinDesc/dolomite.php> . สิงหาคม 2560
- The Concrete Products and Aggregate Co.,Ltd. 2000. CPAC Concrete Technology, “บทที่ 15 ความเสียหายของคอนกรีต”, กรุงเทพมหานคร. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.cpacacademy.com/download/cpacacademy_com/e-contech%20u15.pdf . สิงหาคม 2560

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ตารางสำหรับใช้ประกอบการคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ค่าความยวบตัวของถนนคอนกรีตที่ใช้สำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ		
ประเภทของงาน	ค่าความยวบตัว (ชม.)	
	ค่าสูงสุด *	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีต ไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้เท้า	8.0	2.0
งานพื้นคาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	5.0	2.0

* อาจเพิ่มได้อีก 2 ชม. สำหรับการทำคอนกรีตให้แน่นด้วยวิธีการอื่นนอกเหนือไปจากการใช้เครื่อง (Vibrator)

ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

ขนาดความ หนาของ โครงสร้าง (ชม.)	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม							
	ผนัง คาน และเสา คสล.		ผนังคอนกรีตไม่ เสริมเหล็ก		พื้นถนน คสล. รับน้ำหนัก มาก		พื้นถนนคอนกรีตรับน้ำหนัก น้อย	
	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5.0 - 15.0	1/2 - 3/4	12.5 - 20.0	3/4	20.0	3/4 - 1	20.0 - 25.0	3/4 - 1 1/2	20.0 - 40.0
15.0 - 30.0	3/4 - 1 1/2	20.0 - 40.0	1 1/2	40.0	1 1/2	40.0	1 1/2 - 3	40.0 - 75.0
30.0 - 75.0	1 1/2 - 3	40.0 - 75.0	3	75.0	1 1/2 - 3	40.0 - 75.0	3	75.0
มากกว่า 75.0	1 1/2 - 3	40.0 - 75.0	6	150.0	1 1/2 - 3	40.0 - 75.0	3 - 6	75.0 - 150.0

ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบและวัสดุผสมขนาดต่างๆ

ค่าความยุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม. สำหรับวัสดุผสมต่างๆ							
	3/8 ''	1/2 ''	3/4 ''	1 ''	1 1/2 ''	2 ''	3 ''	6 ''
	(9.5 มม.)	(12.5 มม.)	(20 มม.)	(25 มม.)	(40 มม.)	(50 มม.)	(75 มม.)	(150 มม.)

คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Non-Air Concrete)

3-5	205	200	185	180	160	155	145	125
8-10	225	215	200	195	175	170	160	140
15-18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณฟองอากาศ % โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Air Entraining Concrete)

3-5	180	175	1465	160	145	140	135	120
8-10	200	190	180	175	160	155	150	135
15-18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณฟองอากาศ % โดยปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเป็ดเผยรุนแรง

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลาหรือมีการเยือกแข็ง และการละลายของน้ำสลับกันบ่อยๆ (เฉพาะคอนกรีตกระจายกักฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำเค็มหรือ สัมผัสกับซัลเฟตกับซัลเฟต
โครงสร้างบางๆที่มีเหล็กหุ้มบางกว่า 3 ซม.	0.45	0.40 *
โครงสร้างอื่นๆ ทั้งหมด	0.50	0.45 *

* ถ้าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (Type 2 หรือ Type 5) อาจเพิ่มค่าน้ำต่อซีเมนต์ได้อีก 0.05

ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)		อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก	
		คอนกรีตไม่กระจายกัก	คอนกรีตกระจายกัก
Cylinder Dia 15x30	Cube 15x15x15	ฟองอากาศ	ฟองอากาศ
450	540	0.38	-
400	480	0.43	-
350	420	0.48	0.40
300	360	0.55	0.46
250	300	0.62	0.53
200	240	0.70	0.61
150	180	0.80	0.71

หมายเหตุ ค่าที่ใช้จากตารางนี้ ทำการทดลองจากแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก ขนาดมาตรฐาน Dia 15x30 ซม. ถ้าแท่งตัวอย่างที่เป็นลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าในตารางประมาณ 20%

ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อเนื้อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรของวัสดุผสมมวลหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่างๆกัน						
	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00
3/8 '' (9.5 มม.)	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44
1/2 '' (12.5 มม.)	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53
3/4 '' (20.0 มม.)	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.6
1 '' (25.0 มม.)	0.71	0.7	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65
1 1/2 '' (25.0 มม.)	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70
2 '' (40.0 มม.)	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
3 '' (50.0 มม.)	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75
6 '' (150.0 มม.)	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81

หน่วยน้ำหนักคอนกรีตโดยปริมาตร

ขนาดโตสุดของหิน	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจายกัก ฟองอากาศ	คอนกรีตที่ใช้สารกระจายกัก ฟองอากาศ
3/8 '' (9.5 มม.)	2285	2190
1/2 '' (12.5 มม.)	2315	2235
3/4 '' (20.0 มม.)	2355	2280
1 '' (25.0 มม.)	2375	2315
1 1/2 '' (25.0 มม.)	2420	2353
2 '' (40.0 มม.)	2445	2375
3 '' (50.0 มม.)	2465	2400
6 '' (150.0 มม.)	2505	2435

ตัวอย่างการคำนวณ

ข้อกำหนดของคอนกรีตที่ต้องการ

ค่าความยุบ (Slump) ที่ต้องการไม่เกิน	5.0 - 7.0 ซม.
ปริมาณคอนกรีตต่อ ลบ.ม. ไม่ต่ำกว่า	350 กก./ลบ.ม.
อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ไม่เกิน	0.55
ความต้านทานแรงอัดต่ำสุดต้องไม่น้อยกว่า	325 ksc. (Cube)

ข้อมูลของส่วนผสม

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ค่า ถพ.	3.15
- มวลรวมหยาบ	
ความว่างจำเพาะ	2.700
ความดูดซับน้ำ (Absorption)	0.50 %
Water Content	0.50 %
ขนาดโตของวัสดุมวลรวมหยาบ	25.0 มม.
หน่วยน้ำหนักอัดตัวแห้ง & Dry Rod	1,700 Kg.
- มวลรวมละเอียด	
ค่า Fineness Modulus	2.890
ความว่างจำเพาะ	2.660
ความดูดซับน้ำ (Absorption)	0.97 %
Water Content	2.00 %

Calculation

- 1) ค่าการยุบตัวออกแบบ 5.0 ซม.
- 2) ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 25.0 มม.
- 3) ปริมาณน้ำที่ใช้ (จากตารางที่ 12.3, จากข้อ 1 และ ข้อ 2) = 180.0 ลิตร
ปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสม 180.0 ลิตร
ปริมาณฟองอากาศร้อยละ 0.015
- 4) อัตราส่วน Water/Cement Ratio ที่กำหนดไม่เกิน 0.55 (ข้อกำหนด)
กำลังอัดประลัยที่ต้องการ (Cube) = 325 Ksc. เปลี่ยนเป็นกำลังอัดรูป Cylinder
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15x30 cm. = 325 x (100/120)
= 270.8 Ksc.
การใช้งานในประเทศไทย ม.อ.ก. 213 ให้เพิ่มค่าความต้านทานเฉลี่ยเป็น 1.1 เท่าของความต้านทาน
ที่ต้องการ ดังนั้นกำลังอัดประลัยที่ต้องการ = 297.9 Ksc. (Cylinder)
จากตารางปริมาณน้ำสำหรับค่าการยุบตัว 5.0 ซม. สำหรับคอนกรีตที่ไม่กักฟองอากาศ
จะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก = 0.55
ดังนั้นปริมาณ ซีเมนต์ที่ใช้ = 180/0.55 ก.ก.
= 327.3 ก.ก.
ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในข้อกำหนด (ปริมาณไม่น้อยกว่า 350 ก.ก.) ดังนั้น
ปริมาณซีเมนต์ที่น้อยที่สุดจากข้อกำหนด = 350.0 ก.ก.
- 5) ปริมาณวัสดุผสมหยาบสามารถหาได้จากตารางปริมาณของวัสดุผสมหยาบต่อ 1 หน่วยปริมาตร
คอนกรีต
ค่า Fineness Modulus ของทราย = 2.890
ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ = 25 มม.
สามารถคำนวณปริมาณของวัสดุผสมหยาบ (Saturate Surface-Dry Basis และ Dry Rod) ต่อหน่วย
ปริมาตรของคอนกรีต = 0.661 (Interpolated)
หน่วยน้ำหนักของหิน = 1,700 ก.ก.
หน่วยน้ำหนักของหินที่ใช้ = 1,700 x 0.661
น้ำหนักของหินที่ใช้ = 1,124 ก.ก. (SSD. Basis)
- 6) หาปริมาณของวัสดุมวลรวมละเอียดที่ใช้
ปริมาตรของน้ำ = 180/1000 = 0.180 ม.³
ปริมาตรของซีเมนต์ = 350/(3.15x1,000) = 0.111 ม.³
ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ = 1,124/(2.700x1,000) = 0.416 ม.³
ปริมาตรของฟองอากาศ = 0.015 X 1 = 0.015 ม.³
รวมปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย = 0.722 ม.³

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้นปริมาตรของทรายที่ใช้} &= 1 - 0.722 \quad \text{ม.}^3 \\
 &= 0.278 \quad \text{ม.}^3 \\
 \text{น้ำหนักของทรายแห้งที่ต้องใช้} &= 0.278 \times 2.660 \times 1000 = 739 \text{ ก.ก.} \\
 \text{น้ำหนักของทรายแห้งที่ใช้} &= 739 \text{ ก.ก.}
 \end{aligned}$$

7) ฉะนั้น คอนกรีตสด 1 ลูกบาศก์เมตร ต้องใช้

$$\begin{aligned}
 \text{ซีเมนต์} &= 350 \text{ ก.ก.} \\
 \text{น้ำ} &= 180 \text{ ลิตร} \\
 \text{วัสดุผสมหยาบ} &= 1,124 \text{ ก.ก.} \\
 \text{วัสดุผสมละเอียด} &= 739 \text{ ก.ก.} \\
 \text{รวมน้ำหนักคอนกรีตสด} &= 2,393 \text{ ก.ก.}
 \end{aligned}$$

8) การปรับค่าส่วนผสมระหว่างการใช้งานคอนกรีต กรณีมีความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาพอากาศ เช่น ฝนตกใส่วัสดุ ก่อนการผสมคอนกรีต สรุปปริมาณวัสดุหลังจากออกแบบในกรณีวัสดุอิมตัวผิวแห้งจากข้อ 7) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ซีเมนต์} &= 350 \text{ ก.ก.} \\
 \text{น้ำ} &= 180 \text{ ลิตร} \\
 \text{วัสดุผสมหยาบ (หินอิมตัวผิวแห้ง)} &= 1,124 \text{ ก.ก. (Absorption = 0.50 \% , ถ.พ. = 2.700)} \\
 \text{วัสดุผสมละเอียด (ทรายอิมตัวผิวแห้ง)} &= 739 \text{ ก.ก. (Absorption = 0.97 \% , ถ.พ. = 2.660)}
 \end{aligned}$$

สมมติค่าความชื้นของวัสดุ (Moisture Content) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 - \text{วัสดุผสมหยาบ} &= 1.50 \% \\
 - \text{วัสดุผสมละเอียด} &= 5.30 \%
 \end{aligned}$$

8.1) ปรับส่วนผสมมวลรวมหยาบ

$$\begin{aligned}
 - \text{น้ำหนักวัสดุมวลรวมหยาบที่อิมตัวผิวแห้ง} &= 1,124 \text{ ก.ก.} \\
 - \text{ความชื้นส่วนเกิน} &= 1.50 \% - 0.50 \% = 1.00 \% \\
 - \text{ปริมาณน้ำส่วนเกินในวัสดุมวลรวมหยาบ} &= 1,124 - \left[1,124 \div \left(1 + \frac{1.0}{100} \right) \right] \\
 &= 1,124 - 1,113 = 11 \text{ ลิตร} \\
 - \text{น้ำหนักวัสดุมวลรวมหยาบที่ต้องเพิ่ม} &= 11 \times 2.700 = 29.7 \approx 30 \text{ ก.ก.}
 \end{aligned}$$

8.2) ปรับส่วนผสมมวลรวมละเอียด

$$\begin{aligned}
 - \text{น้ำหนักวัสดุมวลรวมละเอียดที่อิมตัวผิวแห้ง} &= 739 \text{ ก.ก.} \\
 - \text{ความชื้นส่วนเกิน} &= 5.30 \% - 0.97 \% = 4.33 \% \\
 - \text{ปริมาณน้ำส่วนเกินในวัสดุมวลรวมละเอียด} &= 739 - \left[739 \div \left(1 + \frac{4.33}{100} \right) \right] \\
 &= 739 - 708.3 = 30.7 \text{ ลิตร} \\
 - \text{น้ำหนักวัสดุมวลรวมละเอียดที่ต้องเพิ่ม} &= 30.7 \times 2.660 = 81.7 \approx 82 \text{ ก.ก.}
 \end{aligned}$$

8.3) สรุปปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในวัสดุผสมหยาบและละเอียด มีดังนี้

- น้ำจากการออกแบบของวัสดุในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง = 180 ลิตร
- น้ำส่วนเกินในวัสดุผสม = $11 + 30.7 = 41.7$ ลิตร
- น้ำที่ต้องใช้ผสมหลังจากปรับปริมาณน้ำ = $180 - 41.7 = 138.3$ ลิตร

8.4) สรุปปริมาณวัสดุมวลรวมหยาบและละเอียดที่ต้องใช้ ภายหลังจากปรับส่วนผสม มีดังนี้

- มวลรวมหยาบ = $1,124 + 30 = 1,154$ ก.ก.
- มวลรวมละเอียด = $739 + 82 = 821$ ก.ก.

8.5) สรุปส่วนผสมเนื่องจากวัสดุผสมมีความชื้นเพิ่มขึ้น ดังนี้

ซีเมนต์	=	350	ก.ก.
น้ำ	=	138.3	ลิตร
วัสดุผสมหยาบ	=	1,154	ก.ก.
วัสดุผสมละเอียด	=	821	ก.ก.
รวมน้ำหนักคอนกรีตสด	=	2,463.3	ก.ก.

ภาคผนวก ข

แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูล Concrete Pavement

แผ่นที่ 1 ของ 6 แผ่น



บันทึกการเทคอนกรีต PAVEMENT _____ CM. THICK

วันที่ตรวจสอบ _____ วันที่เทคอนกรีต _____ เริ่มเวลา _____

ณ. _____ ถึง กม. _____ ปริมาณคอนกรีต _____ ลบ.ม.

การผสมคอนกรีต ☐ แบบผสมเสร็จ (Ready Mix) ☐ ใส่สารผสมเพิ่ม (Admixture) ☐ ใช้เครื่องผสมเอง (Mixer)

Plant บริษัท _____ หน่วยผลิต _____

ส่วนผสมคอนกรีต 1 ลบ.ม. ปูนซีเมนต์ _____ กก. หิน _____ กก. ทราย _____ กก.

ระยะห่างจากหน่วยผลิตถึงหน้างาน _____ กม. จำนวนรถขนส่ง (Ready Mix) _____ คัน ปริมาตร _____ ลบ.ม./คัน _____ เที่ยว

กำลังคอนกรีต (Strength) ☐ ทรงลูกบาศก์ _____ Mpa. ☐ ทรงกระบอก _____ Ksc สามารถเพิ่ม ยึดการก่อตัวได้ _____ ชั่วโมง

กำหนดค่าความยุบตัว _____ ซม.

ชนิดสารผสมที่ใช้ ☐ ลดน้ำ ☐ หน่วงการก่อตัว ☐ เร่งการก่อตัว ☐ ลดน้ำและเร่งการก่อตัว

งานแบบหล่อ

ลงชื่อผู้ตรวจสอบ

ตรวจสอบแนว	☐ ถูกต้อง ☐ แก้ไขเพราะ _____ ☐ แก้ไขแล้วเสร็จ	
ตรวจสอบค่าระดับ	☐ ถูกต้อง ☐ แก้ไขเพราะ _____ ☐ แก้ไขแล้วเสร็จ	
รูปลักษณะ (ตั้งลาด เอียง) ขนาดโครงสร้าง (กxขxส)	☐ ถูกต้อง ☐ แก้ไขเพราะ _____ ☐ แก้ไขแล้วเสร็จ	
สภาพแบบหล่อ	☐ แข็งแรงเพียงพอ ☐ ผิดเรียบ ☐ ทาน้ำมันทาแบบ ☐ เช็ดล้างสะอาด ☐ อุดรอยต่อแบบดี	
การยึดแบบ	☐ การยึดแบบเหมาะสม	
แผ่นพลาสติกรองพื้นคอนกรีต (Plastic Sheet)	☐ ถูกต้อง ☐ แก้ไขเพราะ _____	

งานเหล็กเสริม

ลงชื่อผู้ตรวจสอบ

เหล็กเสริม	☐ จำนวนครบ ☐ ขนาดถูกต้อง ☐ ตำแหน่งเหล็กถูกต้อง ☐ จุดเชื่อมตะแกรงถูกต้อง จำนวนจุดเชื่อมทั้งหมด _____ จุด จำนวนจุดเชื่อมที่หลุด _____ จุด ☐ แก้ไขเพราะ _____ ☐ แก้ไขแล้วเสร็จ หมายเหตุ จุดเชื่อมในตะแกรงยอมให้หลุดได้ไม่เกินร้อยละ 1 ของจำนวนจุดเชื่อมทั้งหมดหรือไม่เกิน ร้อยละ 1 ของจำนวนจุดเชื่อมในพื้นที่ 14 ตารางเมตรสำหรับตะแกรงที่เป็นม้วน	
เหล็กยึด (TIE BAR)	☐ จำนวนครบ ☐ ขนาดถูกต้อง ☐ ตำแหน่งเหล็กถูกต้อง	
เหล็กเดือย (DOWEL BAR)	☐ จำนวนครบ ☐ ขนาดถูกต้อง ☐ ตำแหน่งเหล็กถูกต้อง ☐ แก้ไขเพราะ _____	
ระยะเหล็กเสริมห่างจากแบบ (Covering) $\pm$ 0.05 ม.	☐ ถูกต้อง ☐ แก้ไขเพราะ _____ ☐ แก้ไขแล้วเสร็จ	



งานคอนกรีต

ลงชื่อผู้ตรวจสอบ

อุปกรณ์ในการเทคอนกรีต Concrete Roller Paver	☐ เครื่องจักรสภาพดี _____ เครื่อง ☐ จำนวนการใช้งาน ☐ จัดหาเพิ่มอีก _____ เครื่อง ☐ จัดหาแล้วเสร็จ	
เครื่องจี้คอนกรีต (Vibrator Row)	☐ เครื่องจักรสภาพดี _____ เครื่อง ☐ จำนวนการใช้งาน ☐ จัดหาเพิ่มอีก _____ เครื่อง ☐ จัดหาแล้วเสร็จ	
เครื่องสั่นชนิดเขย่าแบบ (Form Vibrator)	☐ จำนวนพอใช้งาน ☐ ไม่จำเป็นต้องใช้ ☐ จัดหาเพิ่มอีก _____ เครื่อง ☐ จัดหาแล้วเสร็จ	
ไม้บรรทัดวัดความตรง, เรียบ (Straight Edge)	☐ มีพร้อม ☐ ไม่จำเป็นต้องใช้ ☐ จัดหาเพิ่มอีก ☐ จัดหาแล้วเสร็จ	
เครื่องตัด Joint	☐ มีพร้อม สภาพดี _____ เครื่อง	
เครื่องวาง Dowel Bar	☐ มีพร้อม	
MACHINE TROWEL	☐ มีพร้อม สภาพดี _____ เครื่อง	
อุปกรณ์อื่น ๆ	☐ เครื่องวัดความลึก Joint ☐ กระสอบป่าน ☐ น้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่นเพียงพอ	
เครื่องมือแต่งหน้าคอนกรีต	เหล็กรีดหน้าปูน, สามเหลี่ยม, เกียงไม้-เหล็ก, กระบองหัวปูน, เชือกเย็บ, ไม้กวาดลวดเหล็ก, แปรงสไลด์น้ำ ฯลฯ ☐ มีพร้อม ☐ มีไม่พอ ☐ จัดหา _____ เพิ่มอีก ☐ จัดหาแล้วเสร็จ	
โครงหลังคา กันฝนพร้อมผ้าใบ	☐ จำเป็นต้องใช้ ☐ ไม่จำเป็นต้องใช้ ☐ มีเตรียมพร้อม ☐ จัดหาเพิ่มอีก ☐ จัดหาแล้วเสร็จ	
รถบรรทุกน้ำ ถังน้ำ	☐ มีพร้อม ☐ มีไม่พอ ☐ จัดหา _____ เพิ่มอีก ☐ จัดหาแล้วเสร็จ	
จำนวนแรงงาน	ช่างปูน _____ คน, คนงานทปูน _____ คน, ช่างไม้ _____ คน, ช่างเหล็ก _____ คน, ช่างปรับ (เครื่องยนต์) _____ คน	

การควบคุมและเก็บตัวอย่าง

ลงชื่อผู้ตรวจสอบ

ผลการตรวจสอบค่ายุบตัว (Slump) ก่อนเท	ครั้งที่ 1 = _____ ซม. ครั้งที่ 2 = _____ ซม. ครั้งที่ 3 = _____ ซม.	
แบบหล่อแห่งคอนกรีตตัวอย่าง (จัดเก็บ _____ ตย.)	☐ จำนวนพอใช้งานและมีสภาพดี ☐ มีไม่พอ ☐ จัดหา _____ เพิ่มอีก ☐ จัดหาแล้วเสร็จ	

การควบคุมความเรียบผิวคอนกรีต

ลงชื่อผู้ตรวจสอบ

ผลการตรวจสอบความเรียบ	☐ ผิวเรียบ ☐ ผิวไม่เรียบ _____ มม. หมายเหตุ: เช็คความเรียบไม่เกิน 3.5 มม.	
ข้อบกพร่องและข้อเสนอแนะ ตรวจสอบแล้ว ☐ เห็นควรเทคอนกรีตได้ ☐ เห็นควรแก้ไข ☐ ตรวจสอบการแก้ไขแล้วถูกต้อง อนุญาตให้เทคอนกรีตได้ ลงชื่อ _____ นายช่างควบคุมงาน		

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

[illegible]

โครงการ _____

อัตราส่วนผสม _____ วันที่ _____

Plant _____ สภาพอากาศ _____

[illegible]

นายช่างควบคุมงาน _____

โครงการ _____

เหล็กเสริมคอนกรีต PAVEMENT _____ CM. THICK

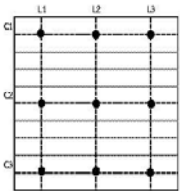
วันที่..... กม. ถึง กม.

[illegible]



โครงการ _____

เช็คความเรียบในสนาม

ลำดับ	แผ่นที่	กม.	-	กม.	ขนานแนวทาง			ตั้งจากแนวทาง			AVG. ร่องล้อ	หมายเหตุ
					L1	L2	L3	C1	C2	C3		
			-									Sta. แผ่นที่ก่อสร้างแล้ว 
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
		AVG. ร่องล้อ										
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
		AVG. ร่องล้อ										
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
			-									
		AVG. ร่องล้อ										

