การตรวจวัดการวิบัติของถนนคอนกรีตเสริมเหล็กและแนวทางการซ่อมบำรุง ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นายวิจักร ศรีสมภาร

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

การตรวจวัดการวิบัติของถนนคอนกรีตเสริมเหล็กและแนวทางการซ่อมบำรุง ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงาน ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

_____

(ผศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)
ประธานกรรมการ

_____

(ศ. ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

_____

(ผศ. ดร.วชรภูมิ เบญจโอพาร)
กรรมการ

_____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วิจักร ศรีสมภาร : การตรวจวัดการวิบัติของถนนคอนกรีตเสริมเหล็กและแนวทางการซ่อมบำรุง ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (AN EXAMINATION OF FAILURE OF RIGID PAVEMENTS AND REMEDY APPROACHES IN THE SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจความเสียหายของถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 เส้นทาง ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้แก่ ถนนวิทยวิถี 1 ถึง ถนนสิกขวิถี 1 ถนนสิกขวิถี 2 ถนนสิกขวิถี 3 ถนนวิทยวิธี 2 และถนนวิทยวิถี 3 ถนนทั้งห้าเส้นนี้เกิดความเสียหายในลักษณะเดียวกัน ซึ่งประกอบด้วยความเสียหายเนื่องจากวัสดุอุดรอยต่อตามขวางชำรุด รอยแตกตามยาว ความเสียหายเนื่องจากช่องทางจราจรและไหล่ทางยุบ การกะเทาะหลุดร่อนของรอยแตก รอยต่อทางขวางและทางยาว และรอยแตกตามขวางและรอยแตกทแยง การเสียหายเกิดเนื่องจากการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดร่องระหว่างแผ่นถนนคอนกรีต จึงทำให้น้ำสามารถซึมลงไปเซาะชั้นทางและเกิดเป็นโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวของแผ่นคอนกรีตในบริเวณต่างๆ เมื่อมียวดยานวิ่งผ่าน แนวทางการแก้ไขที่เหมาะสมมีด้วยกันสามแนวทาง ได้แก่ แนวทางที่หนึ่ง: การซ่อมผิวทางคอนกรีตแบบรื้อสกัดออก แนวทางที่ 2: การซ่อมผิวทางคอนกรีตแบบฉีดสารโพลียูรีเทค และการซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy และทำ Stitching กับการซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy Injection และแนวทางที่ 3: การอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต และการซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy และทำ Stitching กับการซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy Injection ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของผิวถนน แนวทางที่สองสามารถประยุกต์ใช้กับช่วงถนนที่มีการทรุดตัวของแผ่นคอนกรีตเพื่อยกปรับระดับ การซ่อมแซมถนนด้วยแนวทางที่สองได้รับการพิสูจน์ความแข็งแรงและคงทนด้วยการตรวจวัดค่าระดับของถนนคอนกรีต และค่าการยุบตัวเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกจากรถบรรทุกคอนกรีต ผลการตรวจวัดค่าระดับพบว่าแนวถนนในตำแหน่งที่ได้รับการซ่อมแซมยังคงอยู่ในสภาพเดิม แม้ใช้งานมาแล้ว 3 ปี นอกจากนี้ ผลการการยุบตัวของถนนเนื่องจากน้ำหนักยวดยานบริเวณที่ได้รับการซ่อมแซมยังมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่ได้รับการปรับแก้ ผลการตรวจวัดทั้งสองนี้ยืนยันความแข็งแรงและความคงทนของถนนที่ได้รับการซ่อมบำรุงด้วยแนวทางที่สอง

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2555 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

WICHAK SRISOMPHAN : AN EXAMINATION OF FAILURE OF RIGID PAVEMENTS AND REMEDY APPROACHES IN THE SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

The damage of five rigid pavements in the Suranaree University of Technology was examined in this research. The rigid pavements are Withyawithi 1 road to Sikkhawithi 1 road, Sikkhawithi 2 road, Sikkhawithi 3 road, Withyawithi 2 road and Withyawithi 3 road. The damage patterns were the same for the five roads, which consist of the joint seal damage of transverse joints, the longitudinal crack, the lane or shoulder drop-off, the spalling of transverse and longitudinal joint/crack, and the transverse and diagonal crack. The damage was caused by the decadence of the joint seal, allowing water seepage, and hence the occurrence of the aperture under the rigid pavements and the pavement damage during the vehicle passes. Three remedy approaches were proposed: concrete patching, sub-sealing (base improvement) by polyurethane injection and pavement repair by stitching and epoxy injection, and sub-sealing by cement paste and pavement repair by stitching and epoxy injection. The selection of the remedy approaches is dependent upon the level of damage. The second approach is suitable for the road pavements, which have large differential settlement and require the level lift. This strength and durability of the pavement repaired by this approach was proved the leveling and compression during the pass of concrete truck. The leveling measurement showed that level of the remedied road pavements were insignificantly changed for the last three year service. Moreover, the compressions in the remedied road pavement portions were significantly lower than those in the damaged road pavement portions. These two measurement data confirm the strength and durability of the remedied road pavements by the second approach.

School of Civil Engineering Student's signature_____

Academic Year 2012 Advisor's signature_____

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานการศึกษานี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ แนะนำแนวทางการทำงานเพิ่มเติม และให้ความเอาใจใส่ ความเมตตากรุณา ถ่ายทอดความรู้แก่ศิษย์เป็นอย่างดี ทั้งยังปลูกฝังให้ผู้ศึกษามีความอดทน มีกำลังใจ มีวินัย มั่นค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมทั้งทางพฤติกรรมและพฤตินัย ผู้ศึกษาจึงขอขอบพระคุณท่าน ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกๆท่าน ที่ท่านได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ให้แก่ผู้ศึกษา ซึ่งเป็นความรู้ ประสบการณ์ที่มีค่า และมีประโยชน์ในการทำงานของผู้ศึกษาต่อไป ผู้ศึกษาขอระลึกถึงพระคุณบิดาและมารดา ที่ได้อบรมสั่งสอนให้เป็นคนดี รักการศึกษา และมั่นหาความรู้เพิ่มเติม อย่างไม่ย่อท้อต่อปัญหา และอุปสรรคต่างๆ ขอขอบคุณ คุณคธาวุธ น้อยโนนทอง วิศวกรโยธา ตัวแทนบริษัท ยูรีเทคอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ผู้ที่ให้ข้อมูลเชิงเทคนิคและวิธีฉีดสารยูรีเทคตลอดผลการทดสอบ สนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ทดสอบต่างๆ พร้อมทั้งทีมงานทุก ๆ ท่าน ขอขอบคุณนายอานนท์ ชลภัสสรณ์ นักวิจัยระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ช่วยในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ หจก.นันทพลเข็มเจาะวิศวกรรม

ท้ายสุดขอขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆ ส่วนอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อนๆ พี่ๆ น้อง ๆ นักศึกษาทุกๆ ท่าน พร้อมทั้งครอบครัวที่น่ารัก ที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมา ตลอดการศึกษาในครั้งนี้เป็นอย่างดี

วิจักร ศรีสมภาร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูปภาพ ..... ช

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2 ปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 การสำรวจและออกแบบ 3

2.2 ลักษณะโครงสร้างของคันทางโดยทั่ว ไป 3

2.3 สาเหตุของการซ่อมถนนคอนกรีต 3

2.4 การซ่อมแซมและบำรุงรักษาถนนผิวคอนกรีต 5

2.5 ลักษณะรอยแตก โก่งตัวและทรุดตัวของแผ่นถนนคอนกรีต 9

2.6 การอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีตแบบเดิม 10

2.7 การอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีตแบบวิธีฉีดสารโพลิยูริเทน 12

3 การดำเนินการวิจัย 17

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 17

3.1.1 ตรวจสอบค่าระดับถนน 17

3.1.2 ตรวจสอบหาลักษณะการชำรุดเสียหายของถนนและ
วิธีการซ่อมแซมถนนคอนกรีต 18

3.1.3 วิธีแนวทางการแก้ไข 19

3.1.4 การประมาณราคาค่าใช่ายในการซ่อมบำรุง 19

3.1.5 ตรวจค่าการยุบตัวของแผ่นพื้นคอนกรีตถนน 19
3.1.6 สรุปผล 20
3.2 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจ 20
4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล 21
4.1 การสำรวจความเสียหายของถนนจากค่าระดับ 21
4.2 ลักษณะการชำรุดของถนนคอนกรีต 28
4.3 แนวทางการแก้ไข 30
4.4 การประมาณราคาค่าก่อสร้าง 38
4.5 การตรวจสอบการทรุดตัวของถนน คศล. ที่ซ่อมด้วยวิธีฉีดสารโพลิยูริเทค 41
5 สรุปผลการศึกษา 48
เอกสารอ้างอิง 50
ภาคผนวก ก วิธีการทดลองหาค่าความสามารถในการรับ 51
ภาคผนวก ข วิธีการทดลองหาค่าความสามารถในการยกน้ำหนักกดทับ 56
ภาคผนวก ค วิธีการทดลองหาค่าความสามารถในการไหล 61
ประวัติผู้เขียน 65

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การซ่อมรอยต่อ (Repair of Joint Sealing) 7

2.2 การอุดรอยแตก (Sealing Crack) 8

2.3 งานซ่อมผิวทางคอนกรีต (Concrete Patching) 8

2.4 จังหวะการปล่อยวัสดุ 13

4.1 จังหวะการอัดฉีดวัสดุ 32

4.2 สายถนนวิทยวิถี 1 ถึง ถนนสิกขวิถี 1 บริเวณหน้าเสาธง 39

4.3 สายถนน ถนนสิกขวิถี 2 บริเวณทางเข้าอาคารเรียนรวม 1 39

4.4 สายถนนสิกขวิถี 3 บริเวณทางเข้าอาคารบรรณสาร 40

4.5 สายถนนวิทยวิถี 2 บริเวณทางเข้าอาคารวิชาการ1, 2 40

4.6 สายถนนวิทยวิถี 3 บริเวณทางเข้าอาคารศูนย์เครื่องมือฯ 1-6 41

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ภาพตัดถนนคอนกรีต	3
2.2	รอยต่อทรุด	4
2.3	รอยแตกร้าวแบบต่างๆ	10
2.4	การตรวจสอบโพรงใต้พื้นถนนคอนกรีต	10
2.5	การเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30-60 มม. 1.25 - 2.50 นิ้ว	11
2.6	การอัดน้ำปูน (Sub Sealing)	11
2.7	การอัดน้ำปูนต่อไปจนเต็มโพรง	12
2.8	การตรวจค่าระดับหลังฉีดสารยูรีเทค พ.ศ.2552	16
3.1	การวัดค่าการทรุดตัวของแผ่นพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	18
3.2	ลักษณะความเสียหายที่มีการซ่อมแซมแล้วบางส่วน	18
3.3	ลักษณะความเสียหายยังไม่ได้รับการซ่อมแซม	19
3.4	การวัดค่าการทรุดตัวของแผ่นพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	19
3.5	เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ	20
4.1	ค่าระดับถนนวิทยวิถี 1ถึง ถนนสิกขวิถี 1	23
4.2	ค่าระดับ ถนนสิกขวิถี 2	24
4.3	ค่าระดับ ถนนสิกขวิถี 3	25
4.4	ค่าระดับถนนวิทยวิถี 2	26
4.5	ค่าระดับถนนวิทยวิถี 3	27
4.6	วัสดุอุดรอยต่อตามขวางและตามยาวชำรุด	28
4.7	รอยแตกตามยาว	28
4.8	ช่องทางจราจร และไหล่ทางยุบ	29
4.9	การกะเทาะหลุดร่อนของรอยแตก	29
4.10	รอยแตกตามขวางและรอยแตกทแยง	30
4.11	การเลื่อน หรือยกตัวของรอยต่อตามขวางหรือรอยแตก	30
4.12	หลักการทำงานวิธีฉีดสารโพลิยูรีเทน (Polyurethane System)	33
4.13	ลักษณะการทรุดตัวเป็นขั้นบันได	34
4.14	ลักษณะการทรุดตัวเป็นแอ่นตามขวาง	34

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.15 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัดที่มีความหนาแน่นของวัสดุ 100 kg/m3 35
4.16 การอัดน้ำปูน (Sub Sealing) 36
4.17 ขั้นตอนการทำงานซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy Injection 38
4.18 ขั้นตอนการทำงานซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy Injection 38
4.19 การซ่อมแซมอุดโพรงแผ่นพื้นคอนกรีตผิวทางแบบฉีดสารโพลียูรีเทค เมื่อปี พ.ศ.2552 42
4.20 ค่าระดับถนนสิกขวิถี 1 (SKR1.1, SKR1.2) หลังปรับปรุง 43
4.21 ค่าระดับถนนสิกขวิถี 2 (SKR2) หลังปรับปรุง 44
4.22 ค่าระดับถนนวิทยวิถี 2 (WTR2) หลังปรับปรุง 44
4.23 ค่าระดับถนนวิทยวิถี 3 (WTR3) หลังปรับปรุง 45
4.24 การทดสอบค่ายุบตัวของแผ่นพื้นคอนกรีต 46
4.25 การทดสอบค่ายุบตัวของแผ่นพื้นคอนกรีต 47
4.26 การทดสอบค่ายุบตัวของแผ่นพื้นคอนกรีต 47

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

ผิวทางคอนกรีต (Rigid pavement) หลายเส้นภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเกิดการแตกร้าวหลังก่อสร้างและใช้งานได้ระยะหนึ่ง การแตกของแผ่นคอนกรีตจะเริ่มจากบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตและขยายไปถึงบริเวณกลางแผ่น สาเหตุหลักเกิดจากน้ำฝนที่ไหลซึมเข้าไปใต้ผิวทางคอนกรีตผ่านแนวยางมะตอยอุดรูที่ชำรุด เป็นผลให้ดินใต้ผิวทางเกิดการทรุดตัวและเกิดโพรง จนไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจากจราจรได้และเกิดการแตกร้าวของผิวทางคอนกรีตในที่สุด การซ่อมแซมผิวทางคอนกรีตที่ชำรุดแบบดั้งเดิมทำโดยการรื้อผิวทางที่ชำรุดออก บดอัดดินฐานราก และทำการจัดทำผิวทางคอนกรีตใหม่ การซ่อมแซมดังกล่าวใช้เวลานานและทำให้ต้องปิดช่องทางการจราจรบางส่วนหรือทั้งหมด อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมที่สูง

เทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานซ่อมผิวทางคอนกรีตคือการซ่อมบำรุงและยกปรับระดับผิวทางคอนกรีตด้วยการฉีดอัดน้ำยาเคมี “ยูรีเทคเรซิน” ผ่านผิวทางคอนกรีตลงสู่ชั้นดินฐานราก สารเคมีนี้เมื่อผสมเข้ากับดินจะเกิดการขยายตัวและแข็งตัว ทำให้ดินมีกำลังต้านทานแรงเฉือนและการต้านทานการทรุดตัวสูงขึ้น รวมทั้งทนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น นอกจากการซ่อมแซมผิวทางคอนกรีตแล้ว เทคนิคนี้ยังสามารถใช้ได้กับการซ่อมแซมบ้านพักอาศัย อพาร์ทเม้นท์ โรงงาน โรงแรม สนามบิน และสะพาน เป็นต้น ได้ ข้อได้เปรียบของเทคนิคนี้คือ

1. ขั้นตอนการก่อสร้างไม่ซับซ้อนและรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับการก่อสร้างที่ต้องรื้อทิ้งทุบทำใหม่
2. สามารถทำงานได้ในพื้นที่แคบ
3. เป็นเทคนิคใหม่ในการซ่อมถนนที่ไม่ต้องใช้หิน ปูน ทราย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อตรวจวัดค่าระดับของถนนในช่วงการใช้งาน 19 ปี (พ.ศ. 2536 ถึง 2552) สรุปผลความเสียหายของถนนที่ก่อสร้างภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นำเสนอขั้นตอนการซ่อมแซมผิวทางคอนกรีตที่ชำรุดด้วยวิธีอัดฉีดน้ำยาสารเคมี “ยูรีเทคเรซิน” รวมกับวิธีการอื่นที่เหมาะสมในทางวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์ ประมาณราคาค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง และตรวจวัดการยุบตัวของถนนเมื่อมียวดยาวิ่งผ่าน เพื่อยืนยันประสิทธิภาพ (ความแข็งแรงและคงทน) ของการแก้ไขด้วยวิธีอัดฉีดน้ำยาสารเคมี “ยูรีเทคเรซิน”

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสำรวจและสรุปลักษณะความเสียหายของถนนในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. เพื่อเสนอแนวทางการซ่อมบำรุงถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในทางวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์
3. ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการซ่อมแซมถนนด้วยวิธีอัดฉีดน้ำยาสารเคมี “ยูรีเทคเรซิน” จากผลการตรวจวัดการยุบตัวของถนน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก ได้แก่ การสำรวจและสรุปความเสียหายของถนนที่ก่อสร้างในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นำเสนอแนวทางการซ่อมบำรุงผิวทางคอนกรีตที่เหมาะสม และตรวจสอบความน่าเชื่อถือทางด้านกำลังและความคงทนของถนนที่ซ่อมบำรุงด้วยวิธีอัดฉีดน้ำยาสารเคมี “ยูรีเทคเรซิน” จากผลการตรวจวัดการยุบตัวของถนนภายใต้แรงกระทำจากรถบรรทุก งานในส่วนแรกจะดำเนินการโดยใช้แบบสำรวจความเสียหาย พร้อมทั้งระบุลักษณะความเสียหายและค่าระดับการทรุดตัวตามแนวถนน ถนนที่จะทำการศึกษามีทั้งสิ้น 5 เส้นทาง ประกอบด้วย

1. ถนนสิกขวิถี 1
2. ถนนสิกขวิถี 2
3. ถนนสิกขวิถี 3
4. ถนนวิทยวิถี 2
5. ถนนวิทยวิถี 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบข้อมูลความเสียหายของถนนในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. ได้ทราบถึงแนวทางการซ่อมบำรุงถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พร้อมแนวทางการประมาณการค่าก่อสร้าง
3. ได้ทราบถึงความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการประยุกต์ใช้เทคนิคอัดฉีดน้ำยาสารเคมี “ยูรีเทคเรซิน” ในการซ่อมบำรุงถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสำรวจและออกแบบ

ทบวงมหาวิทยาลัยได้ว่าจ้างบริษัทเอกชนในการสำรวจและออกแบบถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยบริษัท เชนี่ เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด เมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2533 การออกแบบได้แบ่งประเภทถนนเป็น ชนิด 2 เลน, 4 เลน และ 4 เลน พร้อมทางจักรยาน ลักษณะถนนเป็นประเภทผิวคอนกรีต (Concrete Pavement) และแอสฟัลท์ติกคอนกรีต (Asphaltic Concrete Pavement) ตามโซนต่างๆ เช่น โซนที่พักอาศัยเป็นถนนผิวลาดยาง โซนที่ทำการและการเรียนการสอนเป็นถนนผิวคอนกรีตเสริมเหล็ก และโซนบริการเอกชน (เทคโนธานี) เป็นประเภทผิวแอสฟัลท์ติกคอนกรีต ฯ

2.2 ลักษณะโครงสร้างของคันทางโดยทั่วไป

คันทางมีการขุดและถมเพื่อให้ได้ Profile ชั้นรองพื้นทางเป็นดินลูกรัง (Soil-Aggregate) ชั้นพื้นทางเป็นหินคลุกมีส่วนผสมคละของเม็ดหินหยาบและละเอียดผ่านตะแกรงร่อน ตามมาตรฐานกลมทางหลวง

โครงสร้างคันทางของถนนผิวจราจรประเภทคอนกรีต (รูปที่ 2.1) จะไม่ใช้ชั้นพื้นทางเป็นหินคลุก แต่จะใช้หินลูกรังในการทำพื้นทาง แล้วรองด้วยทรายหยาบหนา 0.10 ม. เทปิดทับด้วยคอนกรีต

รูปที่ 2.1 ภาพตัดถนนคอนกรีต

(ที่มา:การสำรวจออกแบบถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)

2.3 สาเหตุของการซ่อมถนนคอนกรีต

2.3.1 สาเหตุจากอายุการใช้งานของวัสดุ

ถนนคอนกรีตจะมีความคงทน ไม่แตกหักหรือทรุดตัวขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 4 อย่าง

- ความคงทนของคอนกรีต (Concrete)
- ความแข็งแรงของชั้นรองพื้นทาง (Sub base)
- ความแข็งแรงของดินคันทาง (Sub grade)
- ความคงทนของวัสดุอุดรอยต่อ

2.3.2 สาเหตุจากการขาดการซ่อมบำรุงอย่างต่อเนื่อง

ถนนคอนกรีตเป็นถนนที่มีความคงทนสูง มีอายุการใช้งานประมาณ 30-40 ปี แต่ต้องมีการดูแลบำรุงรักษาอย่างถูกวิธี อย่างเป็นแบบแผนตั้งแต่ต้น แต่ด้วยทางมหาวิทยาลัยเป็นมหาวิทยาลัยใหม่จึงได้มุ่งเน้นในการสร้างอาคารเป็นหลัก ในช่วง 10-15 ปีแรก เพื่อสนับสนุนการเรียนการสอนทั้งด้านงานวิจัยต่างๆ ทางวิชาการ จึงทำให้งบประมาณสนับสนุนการซ่อมบำรุงอย่างต่อเนื่องมีจำนวนจำกัด

ดังนั้นถนนคอนกรีตมีการเกิดโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีตหลายๆ จุด มีสาเหตุมาจากน้ำซึมผ่านลงไปตามรอยแตก (Crack) และตามรอยต่อ (Joint) รูปที่ 2.2 แสดงการทรุดตัวของรอยะต่อถนน ความเสียหายของถนนยังเกิดจากการลำเรียงวัสดุก่อสร้างด้วยรถบรรทุกขนาดใหญ่ เพื่อใช้ในการก่อสร้างโครงการก่อสร้างอาคารต่างๆ

รูปที่ 2.2 รอยต่อทรุด

2.3.3 สาเหตุจากท่อระบายน้ำลอดถนนทรุดตัว

ในการก่อสร้างท่อลอดถนนจะต้องมีการเกร๊าปิดรอยต่อท่อ คสล. เมื่อมีการใช้งานมาเป็นเวลานาน ท่ออาจเกิดการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกยวดยาน ทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำตามจุดต่อของท่อ และนำพัดพาเม็ดดิน พวกทรายหรือกรวด ออกจากชั้นรองพื้นทาง ทำให้ผิวถนนคอนกรีตเสริมเหล็กทรุดตัวและเสียหาย เช่น บริเวณถนนสายเข้าอาคารวิชาการ (ถนนวิทยวิถี 2)

2.3.4 สาเหตุจากเศษวัชพืช

ถนนคอนกรีตภายในมหาวิทยาลัยขาดการซ่อมบำรุงรักษามาเป็นเวลานานและบางเส้นทางก็มีวัชพืชเกิดขึ้นตามรอยต่อแผ่นพื้น และรอยต่อไหล่ขอบคันทาง เช่น หญ้าคา หญ้าธรรมชาติ และต้นไม้ขนาดเล็กต่างๆ

2.4 การซ่อมแซมและบำรุงรักษาถนนผิวคอนกรีต (ที่มา**: สำนักบริหารบำรุงทาง. ตุลาคม 2549 คู่มือซ่อมบำรุงทางหลวง (Road Maintenance Manual) 1-70น.**

ถนนผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) โดยทั่วไปจะมีความแข็งแรงและรับกำลังได้ดีกว่าถนนผิวทางลาดยาง แต่ค่าก่อสร้างถนนผิวทาง คสล. นั้นสูงกว่า การบำรุงรักษาที่ถูกต้องตามหลักวิชาการภายในเวลาที่เหมาะสมเป็นวิธีการที่ช่วยให้ถนนคอนกรีตเสริมเหล็กใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า

สาเหตุความเสียหายของถนน คสล. มีด้วยกัน 2 ประการ ประการแรก คือ ความเสื่อมสภาพของคอนกรีต ซึ่งอาจเป็นผลจากส่วนผสมของคอนกรีตไม่เหมาะสม การแตกร้าวของพื้นคอนกรีตเนื่องจากการบิดตัวของแผ่นคอนกรีตที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และรอยแตกระหว่างรอยต่อของแผ่นพื้นที่อาจเกิดจากการติดตั้งเหล็กเสริมถ่ายน้ำหนักไม่ถูกต้อง ประการที่สองเกิดจากชั้นฐานรากที่รองรับแผ่นพื้นคอนกรีตไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เพียงพอ ทำให้เกิดรอยแตกร้าวหรือหักจากแผ่นพื้นทรุดตัว อย่างไรก็ตามความเสียหายอาจเกิดจากหลายสาเหตุประกอบกัน การซ่อมแซมจึงอาจต้องเลือกวิธีการซ่อมให้ถูกต้องกับสภาพความเสียหาย

2.4.1 ลักษณะความเสียหายของผิวทางคอนกรีต (ที่มา **: การตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหาย** (ประเภทและชนิดความเสียหายทางคอนกรีต)

1. การโก่งตัวของแผ่นพื้น (Blowup or Buckling) ลักษณะความเสียหายเป็นรอยแตกหักตามแนวตั้งฉากกับการโก่งงอยกตัวของแผ่นพื้น สาเหตุเนื่องจากคอนกรีตเกิดการขยายตัว ขณะที่ตำแหน่งหรือขนาดของรอยต่อเพื่อขยายไม่เหมาะสม ทำให้แรงอัดเกิดขึ้นมากดันให้แผ่นพื้นโก่งงอแล้วแตกหัก
2. รอยแตกตามมุม (Corner Breaks) ลักษณะความเสียหายเป็นรอยแตกตามมุมของแผ่นพื้นเป็นเส้นทแยงมุมระหว่างรอยต่อ สาเหตุที่เกิดรอยแตกเนื่องจากชั้นทางใต้แผ่นพื้นแข็งแรงไม่เพียงพอเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกมากดลงบนมุมของแผ่นพื้นจึงเกิดรอยแตก

3. แผ่นพื้นแตกและแยกตัว (Divided Slab) ลักษณะเป็นรอยแตกตามแนวแบ่งแผ่นพื้นเป็นหลายส่วน สาเหตุเนื่องจากขึ้นโครงสร้างทางหรือคอนกรีตแข็งแรงไม่เพียงพอกับการรับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจร
4. รอยแตกจากการคงทนของวัสดุ (Durability ("D") Cracking) ลักษณะความเสียหายเกิดรอยแตกเป็นเส้นหลายแนวขนานกันและระยะของแนวใกล้ชิด จะเริ่มปรากฏรอยแตกตามมุมของแผ่นพื้นก่อน สาเหตุเกิดจากการขยายหรือหดตัวของวัสดุมวลรวมของคอนกรีต
5. ทรุดตัวต่างระดับ (Faulting) ลักษณะความเสียหายสังเกตได้จากแผ่นพื้นที่ติดกันมีระดับที่แตกต่าง สาเหตุเกิดจากการทรุดตัวของชั้นฐานรากไม่เท่ากัน หรือความคลาดเคลื่อนจากการใช้เหล็กเสริมถ่ายน้ำหนัก
6. รอยต่อหลุดร่อน (Joint Seal Damage) เป็นลักษณะความเสียหายของวัสดุรอยต่อหลุดสาเหตุเนื่องจากการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานคุณภาพวัสดุรอยต่อ
7. รอยแตกตามแนวยาว (Linear Cracking) ลักษณะความเสียหายเกิดรอยแตกตามแนวยาวของแผ่นพื้น สาเหตุมักเกิดจากการบิดตัวของแผ่นพื้นเนื่องจากอุณหภูมิหรือการทรุดตัวไม่เท่ากันของชั้นทาง
8. รอยปะซ่อม (Patching) เป็นรอยปะซ่อมพื้นที่ผิวเดิมหรือรอยปะซ่อมตามแนวระบบสาธารณูปโภค
9. ผิวทางลื่น (Polished Aggregate) ลักษณะความเสียหายสังเกตได้จากผิวหน้าคอนกรีตลื่นเป็นมัน สาเหตุเกิดจากการขัดสีกันระหว่างผิวหน้าของแผ่นพื้นกับล้อรถที่วิ่งผ่านไปมา ทำให้วัสดุมวลรวมถูกขัดสีให้มันเรียบ
10. Pumping ลักษณะความเสียหายเกิดการพุ่งทะลักของน้ำที่อยู่ใต้พื้นคอนกรีตโดยอาจจะมีวัสดุของชั้นทางผสมปนขึ้นมาตามแนวรอยต่อหรือรอยแตก เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกวิ่งผ่าน สาเหตุเกิดจากน้ำซึมผ่านลงไปตามรอยต่อหรือรอยแตกไปอยู่ใต้แผ่นพื้น เมื่อมีรถวิ่งผ่านพื้นมีการกระดกตัวขึ้นลงตรงบริเวณรอยต่อหรือรอยแตก เกิดแรงอัดทำให้น้ำพุ่งทะลักขึ้นมาบนผิวจราจร
11. ผิวทางหลุดร่อน (Scaling) ลักษณะความเสียหายผิวนั้นคล้ายข้าวตังเนื่องจากการหลุดร่อนของวัสดุ Cement mortar ตรงส่วนบนของผิวหน้า สาเหตุมักเกิดจากวัสดุมวลรวมสกปรกหรือ Cement Paste ส่วนบนปริมาณน้ำสูงมากเกินไป

12. รอยแตกจากการหดตัว (Shrinkage Cracks) ลักษณะความเสียหายเป็นรอยแตกลายงา (Hairline) ยาวไม่มากนักและไม่แตกข้ามแผ่นพื้น สาเหตุมักเกิดจากการบ่มการห่อตัวของคอนกรีต
13. ผิวทางแตกกระเทาะ (Spalling) ลักษณะความเสียหายเกิดรอยร้ายและแตกเป็นสะเก็ดตามรอยต่อและมีความลึกไม่มากนัก สาเหตุมักเกิดจากรอยต่อไม่เรียบหรือคอนกรีตที่เส้นของรอยต่อไม่แข็งแรง เมื่อมีน้ำหนักมากดทับจึงทำให้แตกบิ่นกระเทาะ

2.4.2 วิธีซ่อมบำรุงรักษา (Maintenance)

1. การซ่อมรอยต่อ (Repair of Joint Sealing) เป็นการบำรุงรักษารอยต่อที่ชำรุดเพื่อป้องกันน้ำไม่ให้ซึมลงใต้ผิวคอนกรีต

   ขั้นตอนการซ่อมรอยต่อมีลำดับการดำเนินการดังนี้ (ตารางที่ 2.1)

   1) ขุดเอาวัสดุรอยต่อเดิมออกให้หมด
   2) ทำความสะอาดรอยต่อให้ใช้แปลงลวดขัดหรือเครื่งอัดลมเป่าลม
   3) หยอดยางอุดรอยต่อใหม่ให้เต็มพอดี

ตารางที่ 2.1 การซ่อมรอยต่อ (Repair of Joint Sealing)

วัสดุ	ใช้วัสดุ Joint Sealing
เครื่องจักรกล/ เครื่องมือ	เครื่องจักรที่ใช้ในการปฏิบัติงานประกอบด้วย 1. เครื่องเป่าอัดลม จำนวน 1 เครื่อง 2. อุปกรณ์ในการขุดรอยต่อ แปลงลวดขัด จำนวน 1 ชุด 3. รถบรรทุก จำนวน 1 คัน
พนักงาน	พนักงานขับเครื่องจักรและยานพาหนะ
แรงงาน	ที่ใช้ประกอบด้วย 1. ขุดรอยต่อ จำนวน 1 คน 2. หยอดรอยต่อ จำนวน 1 คน
ปริมาณงานที่ทำได้	เครื่องจักร 1 ชุด สามารถปฏิบัติงานซ่อมรอยต่อได้วันละ 200-300 เมตร

2. การอุดรอยแตก (Sealing Crack) เป็นการซ่อมแซมอุดรอยแตกที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นคอนกรีต

ขั้นตอนการซ่อมอุดรอยแตกมีลำดับการดำเนินการดังนี้ (ตารางที่ 2.2)

1) ทำความสะอาดรอยแตกด้วยเครื่องอัดลม
2) ใช้ยางแอสฟัลท์ หรือใช้ Epoxy Resin อัดตามรอยแตก

ตารางที่ 2.2 การอุดรอยแตก (Sealing Crack)

วัสดุ	ใช้วัสดุ Joint Sealing
เครื่องจักรกล/เครื่องมือ	เครื่องจักรที่ใช้ในการปฏิบัติงานประกอบด้วย 1. เครื่องเป่าอัดลม จำนวน 1 เครื่อง 2. รถบรรทุก จำนวน 1 คัน
พนักงาน	พนักงานขับเครื่องจักรและยายพาหนะ จำนวน 1 คน
แรงงาน	ที่ใช้ประกอบด้วย 1. ทำความสะอาดรอยแตกด้วยเครื่องอัดลม จำนวน 1 คน 2. อุดรอยแตกด้วยยางแอสฟัลท์หรือ Epoxy Resin จำนวน 1 คน
ปริมาณงานที่ทำได้	เครื่องจักร 1 ชุด สามารถปฏิบัติงานอุดรอยแตกได้วันละ 300-400 เมตร

3. งานซ่อมผิวทางคอนกรีต (Concrete Patching) เป็นการซ่อมแซมความเสียหายที่มีความรุนแรงด้วยการเจาะสกัดผิวคอนกรีตที่ชำรุดเสียหายออกทั้งแผ่น หรือบางส่วนรวมทั้งขุดเอาวัสดุพื้นทางเดิม หากเห็นว่าจำเป็นแล้วลงวัสดุใหม่แทน ขั้นตอนการซ่อมผิวทางคอนกรีตมีลำดับการดำเนินการดังนี้ (ตารางที่ 2.3)

1) กำหนดพื้นที่เสียหาย
2) ขุดรื้อผิวทาง คสล. ออกและตัดแต่งให้ได้รูป
3) ปรับปรุงวัสดุรองพื้นทางหรือแทนด้วยวัสดุใหม่บดอัดให้ได้มาตรฐาน
4) ปรับระดับด้วยชั้นทรายรองพื้น
5) ก่อสร้างชั้นผิวทาง คสล. และรอยต่อ

ตารางที่ 2.3 งานซ่อมผิวทางคอนกรีต (Concrete Patching)

วัสดุ	วัสดุผสมคอนกรีต (หิน, ปูน, ทราย, เหล็ก)
เครื่องจักรกล/เครื่องมือ	เครื่องจักรที่ใช้ในการปฏิบัติงานประกอบด้วย เครื่องจักรที่ใช้ในการปฏิบัติงานเสริมผิวลูกรัง 1 ชุด ประกอบด้วย 1. รถบรรทุก จำนวน 1 คัน 2. รถทำลายคอนกรีต จำนวน 1 คัน

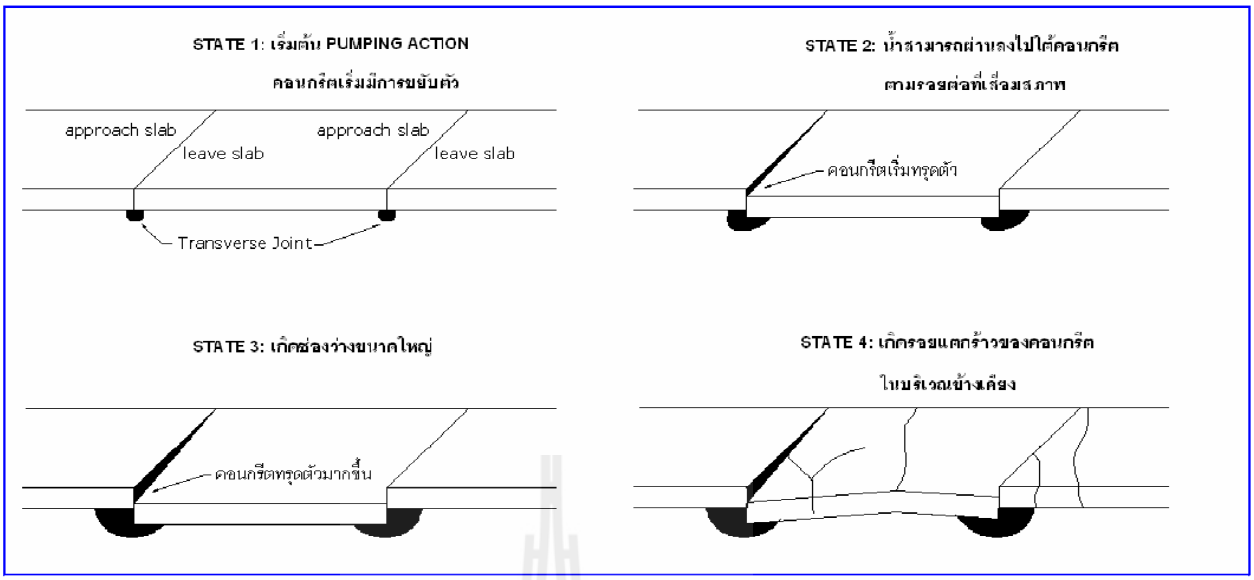
ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

วัสดุ	วัสดุผสมคอนกรีต (หิน, ปูน, ทราย, เหล็ก)	
	3. เครื่องเขย่าคอนกรีต	จำนวน 1 เครื่อง
	4. เครื่องผสมคอนกรีต	จำนวน 1 เครื่อง
	5. เครื่องตบหน้าดิน	จำนวน 1 เครื่อง
พนักงาน	พนักงานขับเครื่องจักรและยายพาหนะ	จำนวน 2 คน
แรงงาน	ที่ใช้ประกอบด้วย	
	1. ผสมคอนกรีต	จำนวน 3 คน
	2. เทคอนกรีต	จำนวน 3 คน
	3. ปรับแต่งผิวคอนกรีต	จำนวน 1 คน
ปริมาณงานที่ทำได้	เครื่องจักร 1 ชุด สามารถปฏิบัติงานซ่อมผิวทางคอนกรีตได้วันละ 20-25 ตารางเมตร	

2.5 ลักษณะรอยแตก โก่งตัวและทรุดตัวของแผ่นถนนคอนกรีต (Kam Crack Breaks, Blowup or Buckling and Divided Slab Concrete)

โครงสร้างถนนคอนกรีตจะมีการแอ่นตัวเมื่อมีน้ำหนักมากระทำ โดยมีชั้นพื้นทาง ชั้นรองพื้นทาง ชั้นดินตัดดินถม เป็นวัสดุรองรับร่วมกับความแข็งแรงของแผ่นคอนกรีตเอง ทำหน้าที่ต้านทานการแอ่นตัวไว้ ถ้าเมื่อใดมีแรงดึง (Tensile Stress) แล้วเกิดการแอ่นตัวเกินกว่าค่ากำลัง (Flexural Strength) ของแผ่นคอนกรีตนั้นๆ แล้วถนนก็จะเกิดรอยแตกแยกขนาดเล็กไปสู่ขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ จนกว่าจะมีการซ่อมแซมปรับปรุง ซึ่งเรียกว่าการวิบัติของแผ่นผิวคอนกรีต และจะเกิดเป็นโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีตดังกล่าว

สาเหตุการเกิดโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีตมาจากน้ำซึมผ่านลงไปตามรอยแตก (Crack) ตามรอยต่อ (Joint) ประกอบกับดินเดิมภายในมหาวิทยาลัยเป็นชั้นดินเหนียวปนทราย ที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนปานกลางถึงสูง เมื่ออยู่ในสภาพแห้งและจะลดลงเมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งมีรถบรรทุกหนักวิ่งผ่านไปมาใน Site งานก่อสร้างก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของแผ่นพื้นคอนกรีต แรงกระแทกจากรถบรรทุกทำให้น้ำที่อยู่ใต้แผ่นพื้นคอนกรีตพัดพาวัสดุมวลรวมออกมาตามรอยต่อหรือรอยแตก หรือเรียกว่า Pumping Action ซึ่งทำให้ชั้นพื้นทาง (Subbase) เกิดการขยายตัวเป็นโพรงโดยเฉพาะที่รอยต่อระหว่างแผ่นถนนคอนกรีตกับขอบทางเท้า (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 รอยแตกร้าวแบบต่างๆ

(ที่มา : **2542 มนัส คอวนิช การดูแลถนนคอนกรีต 37-44น.)**

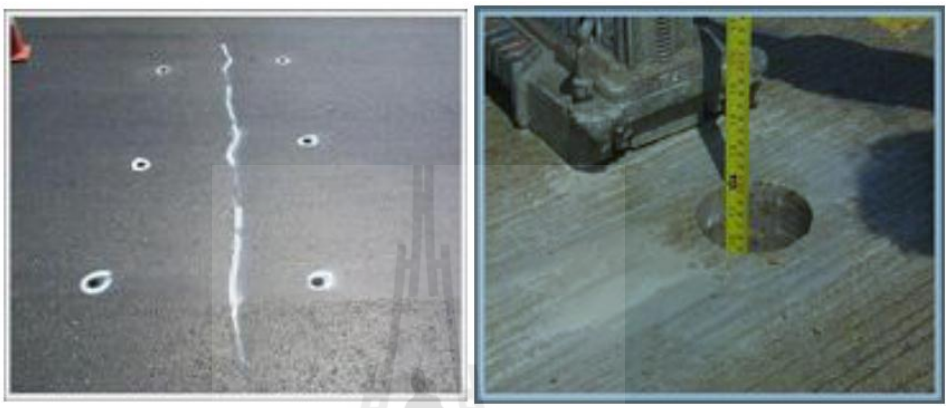
2.6 การอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีตแบบเดิม (Sub Sealing) ที่มา: **คู่มือการซ่อมบำรุงทาง 2549 64-69น.**

งานอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต เป็นการอุดช่องว่างใต้แผ่นถนนคอนกรีตที่เกิดจาก Pumping Action ด้วยวิธีการเจาะรูแผ่นพื้นถนนคอนกรีตบริเวณที่มีโพรงอยู่ข้างใต้จนทะลุแผ่นพื้น แล้วทำการอัดฉีดด้วยวัสดุประเภท Slurry Cement Mortar (ปูน + ทราย) หรือวัสดุอื่นใดตามรูปแบบที่กำหนด เพื่อเติมวัสดุดังกล่าวให้เต็มปริมาตรโพรงช่องว่างที่เกิดขึ้น โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. ทำการตรวจสอบโพรงใต้พื้นถนนคอนกรีต (รูปที่ 2.4)

รูปที่ 2.4 การตรวจสอบโพรงใต้พื้นถนนคอนกรีต

2. เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30-60 มม. (1.25 - 2.50 นิ้ว) ให้อยู่ในแนวดิ่งหรือตั้งฉากกับแผ่นพื้นถนนคอนกรีตและทะลุแผ่นพื้นถนนคอนกรีตลงไปจนถึงชั้นที่เกิดโพรงช่องว่าง (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 การเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30-60 มม. 1.25 - 2.50 นิ้ว

3. เริ่มต้นอัดน้ำปูน (Sub Sealing) เพื่อไล่น้ำออกตามรอยต่อระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีต (รูปที่ 2.6)

รูปที่ 2.6 การอัดน้ำปูน (Sub Sealing)

4. ทำการอัดน้ำปูนต่อไปจนเต็มโพรงใต้แผ่นคอนกรีตหรือมีน้ำปูนไหลล้นออกมาจากใต้แผ่นพื้นคอนกรีตจนเต็มแนวรอยแตก จากนั้นตกแต่งรูเจาะและรอยแตกให้น้ำปูนเรียบได้ระดับสม่าเสมอ (รูปที่ 2.7)

รูปที่ 2.7 การอัดน้ำปูนต่อไปจนเต็มโพรง

(ที่มา: **คู่มือซ่อมบำรุงทางหลวง (Road Maintenance Manual)**

2.7 การอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีตแบบวิธีฉีดสารโพลิยูรีเทน (Polyurethane System)

ที่มา: **Uretek Company Profile. 2554 [ออนไลน์]. ได้ก:http://www.uretekworldwide.com**

งานอุดซ่อมโพรงและยกปรับระดับด้วยสารโพลิยูรีเทนถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประกอบด้วย

1. ถนนสิกขวิถี 1	จำนวน 2 จุด	210	$ม^2$
2. ถนนสิกขวิถี 2	จำนวน 1 จุด	180	$ม^2$
3. ถนนสิกขวิถี 3	จำนวน 1 จุด	60	$ม^2$
4. ถนนวิทยวิถี 2	จำนวน 1 จุด	280	$ม^2$
5. ถนนวิทยวิถี 3	จำนวน 2 จุด	160.20	$ม^2$
	รวม	890.20	$ม^2$

จากปัญหาการชำรุดเสียหายดังกล่าวในข้างต้นและด้วยงบประมาณในการซ่อมแซมที่มีอยู่จำกัด ในครั้งนี้จึงเป็นการซ่อมแซมถนนบางเส้นทาง บางจุด ที่ชำรุดเสียหายมากๆ และเป็นอันตรายต่อการจราจรของนักศึกษา บุคคลากร คณาจารย์และผู้สัญจรไปมาได้

2.7.1 วิธีการดำเนินงาน

1. สำรวจเก็บระดับผิวจราจรเพื่อกำหนดระดับการยกผิวจราจร การสำรวจจะต้องกำหนด Bench Mark จากจุดที่มีความมั่นคง จุดสำรวจต้องมีระยะห่างไม่เกิน 5 เมตร และครอบคลุมพื้นที่การซ่อมแซม
2. กำหนดตำแหน่งรูเจาะ ตำแหน่งรูเจาะมีระยะห่างระหว่างรูไม่เกิน 1.5 เมตร หรือ ห่างจากขอบผิวทางคอนกรีตไม่เกิน 0.75 เมตร

3. เจาะรูผ่านแผ่นพื้นคอนกรีต การเจาะรูจะต้องเจาะในแนวดิ่งหรือตั้งฉากกับแผ่นพื้นถนนคอนกรีต โดยเจาะทะลุความหนาของคอนกรีตจนถึงดินด้านล่าง การเจาะรูต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง ป้องกันมิให้เกิดการแตกร้าว การกะเทาะหรือการหลุดออกของคอนกรีตบริเวณขอบรูเจาะ อีกทั้งจำนวนรูที่เจาะจะต้องสามารถทำการอัดฉีดวัสดุให้แล้วเสร็จในแต่ละวัน ในกรณีที่ไม่สามารถอัดฉีดวัสดุในรูที่เจาะให้แล้วเสร็จในแต่ละวันได้ ผู้รับจ้างต้องทำการอุดรูที่เจาะไว้ก่อนชั่วคราวเพื่อป้องกันความชื้น และสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ
4. ติดตั้งหัวอัดฉีด การติดตั้งหัวอัดฉีดลงบนรูที่เจาะไว้ให้แน่น โดยทำให้ปลอกยาง (Expanding Rubber Packer) ตรงบริเวณปลายหัวอัดฉีดขยายตัวอุดรูให้แน่น เพื่อป้องกันส่วนผสมไหลล้นย้อนคืนกลับบนรูเจาะในขณะที่กำลังทำการฉีดอยู่
5. อัดฉีดวัสดุ
    1) การอัดฉีดวัสดุเพื่ออุดซ่อมโพรง การอัดฉีดวัสดุใช้แรงดันประมาณ 650 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (4.48 เมกะพาสคัล หรือ 45.70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 44.82 Bar) เข้าไปในโพรงช่องว่างใต้พื้นถนนคอนกรีต โดยจังหวะการอัดฉีดวัสดุขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างรูเจาะที่แนะนำไว้ตามตารางที่ 2.4 ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมพื้นที่การกระจายตัวของวัสดุ

ตารางที่ 2.4 จังหวะการปล่อยวัสดุ

ระยะห่างระหว่างรูเจาะ(เมตร)	จังหวะการอัดฉีดวัสดุ
60 – 100	อัดฉีด 1-3 วินาที หยุด 1-3 วินาที
100 – 150	อัดฉีด 2-4 วินาที หยุด 2-4 วินาที

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) ติดตั้งเครื่องวัดระดับการยกตัวของคอนกรีต ณ จุดที่ทำการอัดฉีด โดยเริ่มต้นการอัดฉีดวัสดุจากจุดที่มีการทรุดตัวของพื้นถนนคอนกรีตมากที่สุดแล้วขยับไปยังจุดที่มีการทรุดตัวมากเป็นลำดับถัดไป จนกว่าจะครบทุกตำแหน่งบนพื้นที่ ในการอัดฉีดวัสดุจะทำการอัดฉีดแบบต่อเนื่องตามจังหวะการปล่อยวัสดุ และจะหยุดก็ต่อเมื่อมีสาเหตุดังนี้
    1. มีการเริ่มขยับตัวของไหลทาง โดยสังเกตจากเครื่องมือวัดการขยับตัว
    2. เริ่มมีรอยแตกร้าวบนผิวคอนกรีต

3. ในการยกปรับระดับในแต่ละครั้งของแต่ละตำแหน่งไม่ควรเกิน 20 มิลลิเมตร
4. ตำแหน่งที่กำลังทำการอัดฉีดวัสดุถูกยกจนได้ระดับที่ต้องการ

3) หลังจากที่มีการอัดฉีดวัสดุครบทุกตำแหน่ง ให้ทำการวัดระดับอีกครั้งเพื่อพิจารณาลำดับของตำแหน่งการอัดฉีดวัสดุ โดยใช้รูเจาะเดิมที่ต้องเจาะซ้ำอีกครั้ง แล้วทำการอัดฉีดวัสดุ (ตามขั้นตอนที่ 5.2.2 และทำซ้ำขั้นตอนที่ 5.2.3 จนกว่าพื้นถนนคอนกรีตจะถูกยกจนได้ระดับที่ต้องการ

6. การอุดรูเจาะ หลังเสร็จสิ้นขั้นตอนการอัดฉีดวัสดุจะต้องทำการอุดรูเจาะด้วย Non-shrink Cement Grout โดยก่อนการอุดรูเจาะจะต้องมีการเจาะรูซ้ำให้มีความลึกอย่างน้อย 50 มิลลิเมตร
7. การเปิดพื้นที่การจราจร หลังจากการอุดรูเจาะแล้ว จะต้องทำความสะอาดพื้นที่และเปิดใช้พื้นที่ได้เลย เพื่อลดเวลาในการปิดพื้นที่การจราจร

2.7.2 เครื่องจักรและเครื่องมือ

ผู้รับจ้างจะต้องเตรียมชุดเครื่องจักร เครื่องมือไว้ให้พร้อมที่จะดำเนินการ ณ สถานที่ทำการซ่อมและต้องได้รับการตรวจสอบจากผู้ควบคุมงาน เครื่องจักรเครื่องมือชิ้นใดที่ไม่ผ่านการตรวจสอบ ผู้รับจ้างจะต้องแก้ไขหรือจัดหาเครื่องจักรเครื่องมือที่มีสภาพดีมาเปลี่ยนหรือเพิ่ม ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ควบคุมงาน

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่น เครื่องจักรและเครื่องมือ อาจจะประกอบไปด้วยเครื่องจักรและเครื่องมือดังต่อไปนี้

1. เครื่องเจาะรู (Coring Machine) เครื่องเจาะรู จะต้องสามารถเจาะรูทะลุผ่านตลอดความหนาของแผ่นพื้นถนนคอนกรีตโดยไม่เกิดการกะเทาะและแตกร้าวทั้งผิวบนและผิวล่างของแผ่นพื้นถนนคอนกรีต ขนาดของรูที่เจาะควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 5-20 มิลลิเมตร(0.2-0.79 นิ้ว) ตามความเหมาะสมกับหัวอัดฉีดวัสดุ
2. เครื่องอัดฉีดวัสดุ (Injection Machine) เครื่องอัดฉีดวัสดุ ควรประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก ดังนี้

1) ถังบรรจุวัสดุ ถังบรรจุวัสดุจะต้องมีขนาดพอเพียงในการบรรจุวัสดุเพื่อใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง
2) เครื่องอัด (Pump) เครื่องอัดจะต้องมีกำลังอัดฉีดวัสดุได้อย่างพอเพียงและต่อเนื่อง และสามารถให้แรงดันสูงสุดถึง 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (5.52 เมกะ

พาสคัล หรือ 56.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 55.16 Bar) และเมื่อเริ่มทำงาน สามารถอัดฉีดวัสดุได้ไม่น้อยกว่า 10 ลิตรต่อนาที

3) หัวอัดฉีดพร้อมสายลำเลียง สายลำเลียงต้องมีขนาดและความยาวเหมาะสมในการใช้งาน ไม่มีการรั่วซึม สามารถต่อเชื่อมกับเครื่องอัดและหัวอัดฉีดได้อย่างเหมาะสม หัวอัดฉีดควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมกับรูเจาะ บริเวณใกล้ปลายหัวอัดฉีดจะต้องมีปลอกยาง (Expanding Rubber Packer) ห่อหุ้มท่อหัวฉีดไว้ เพื่อทำหน้าที่อุดรูที่เจาะไว้ให้แน่นป้องกันวัสดุไหลย้อนกลับออกมาระหว่างฉีด

3. รถบรรทุกเครื่องจักรและเครื่องมือ เครื่องจักรและเครื่องมือจะต้องถูกติดตั้งไว้บนรถบรรทุกเพียงคันเดียว และรถบรรทุกเครื่องจักรและเครื่องมือจะต้องมีขนาดเหมาะสมกับงานซ่อม เพื่อให้สามารถดำเนินงานไปได้โดยไม่ติดขัด หยุดชะงัก และไม่ส่งผลต่อการจราจรในพื้นที่ข้างเคียง
4. ปืนอัดฉีดวัสดุ ปืนอัดฉีดวัสดุจะต้องถูกทำความสะอาดทุกครั้งก่อนเริ่มงานและหลังการอัดฉีดสารเคมีทุกๆ 300 กิโลกรัม เพื่อไม่ให้เกิดการอุดตันภายในปืนอัดฉีดวัสดุ ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการไหลของวัสดุ
5. เครื่องเป่าลม (Air Compressor) เครื่องเป่าลมจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับการทำงานของปืนอัดฉีดวัสดุ หรือมีแรงดันสูงสุดไม่น้อยกว่า 800 กิโลพาสคัล (116.03 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 8.16 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 8.00 Bar.)
6. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับเครื่องจักรและเครื่องมือที่ใช้ในงานซ่อม หรือสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 800 กิโลวัตถ์
7. เครื่องวัดระดับการยกตัว เครื่องวัดระดับการยกตัวจะต้องเป็นเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ที่มีตัวเลขแสดงอย่างชัดเจน และมีหน่วยการวัดเป็นมิลลิเมตร เพื่อให้การตรวจสอบการยกตัวของพื้นถนนคอนกรีตมีประสิทธิภาพ
8. เครื่องวัดการขยับตัว เครื่องวัดการขยับตัวของพื้นถนนคอนกรีตจะต้องมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.01 มิลลิเมตร
9. ชุดอุปกรณ์สำรวจค่าระดับ
   1) กล้องระดับพร้อมขาตั้งกล้อง
   2) Staff

3) เทปวัดระยะ

4) สีสเปรย์

2.7.3 การตรวจค่าระดับหลังเสร็จงาน

หลังงานเสร็จสิ้นต้องมีการสำรวจเก็บค่าระดับผิวคอนกรีต เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวในอนาคตต่อไป (รูปที่ 2.8)

รูปที่ 2.8 การตรวจค่าระดับหลังฉีดสารยูรีเทค พ.ศ.2552

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ศึกษาสภาพความเสียหายของถนนคอนกรีตเสริมเหล็กภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เสนอแนวทางการซ่อมบำรุงพร้อมประมาณการค่าใช้จ่าย และตรวจสอบความเหมาะสมด้านกำลังและความคงทนของถนนที่ทำการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการที่นำเสนอ สาเหตุความเสียหายส่วนใหญ่เกิดจากการไหลซึมของน้ำผ่านวัสดุอุดร่องแผ่นคอนกรีตที่เสื่อมสภาพ น้ำที่ไหลซึมนี้ทำให้มวลดินไหลหนีและเกิดเป็นโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต การสำรวจความเสียหายดำเนินการด้วยการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับของถนนตั้งแต่เริ่มใช้งานจนถึงปัจจุบันและสำรวจลักษณะความเสียหายของถนน การอุดโพรงใต้แผ่นคอนกรีตทำโดยการอัดฉีดสารโพลียูรีเทคและน้ำปูน การซ่อมผิวทางทำโดยการรื้อผิวทางเดิมและซ่อมใหม่ หรือทำการอุดรอยแตกด้วย Epoxy ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรง ของรอยแตก ท้ายสุด ผู้วิจัยจะทำการตรวจสอบความแข็งแรงและความคงทนของถนนที่ทำการซ่อมบำรุงด้วยการอัดฉีดสารโพลียูรีเทค โดยการตรวจวัดค่าระดับของถนนหลังสิ้นสุดการซ่อมบำรุงแล้ว 3 ปี และตรวจสอบการยุบตัวของถนนขณะที่มีรถบรรทุกวิ่งผ่าน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ถนนคอนกรีตเสริมเหล็กที่ศึกษาในงานวิจัยนี้มีทั้งสิ้น 5 เส้นทาง ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ได้แก่

ถนนวิทยวิถี 1 ถึง ถนนสิกขวิถี 1	จำนวน	1	เส้นทาง
ถนนสิกขวิถี 2	จำนวน	1	เส้นทาง
ถนนสิกขวิถี 3	จำนวน	1	เส้นทาง
ถนนวิทยวิถี 2	จำนวน	1	เส้นทาง
ถนนวิทยวิถี 3	จำนวน	1	เส้นทาง

3.1.1 ตรวจสอบค่าระดับถนน (Elevation)

การสำรวจความเสียหายของถนนโดยการตรวจวัดค่าระดับของถนนทำโดยการเปรียบเทียบค่าระดับของถนนหลังใช้งานแล้ว 19 ปี (พ.ศ. 2552) กับค่าระดับของถนนหลังสิ้นสุดการก่อสร้าง (พ.ศ. 2536) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้มีดำริให้ทำการปรับปรุงถนนด้วยวิธีการอัดฉีดสารโพลียูรีเทคในบางตำแหน่งที่มีความเสียหายอย่างรุนแรงของถนนทั้งห้าเส้น

เนื่องจากงบประมาณที่จำกัดและเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีดังกล่าวในชั้นดินภายในมหาวิทยาลัย การดำเนินการเริ่มต้นและสิ้นสุดในปี พ.ศ. 2552 เพื่อเป็นการตรวจสอบความคงทนของถนนที่ซ่อมบำรุงด้วยวิธีนี้ ผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดค่าระดับของถนนตำแหน่งที่ได้รับการซ่อมบำรุงที่ปี พ.ศ. 2552 และ 2555

รูปที่ 3.1 การวัดค่าการทรุดตัวของแผ่นพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.1.2 ตรวจสอบหาลักษณะการชำรุดเสียหายของถนน และวิธีการซ่อมแซมถนนคอนกรีต

ผู้วิจัยจะทำการสำรวจลักษณะความเสียหายของถนนคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งห้าเส้น และทำการสรุปลักษณะความเสียหายโดยภาพรวมทั้งหมด รูปที่ 3.2 และ 3.3 แสดงรูปถ่ายความเสียหายที่ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจในเบื้องต้น

รูปที่ 3.2 ลักษณะความเสียหายที่มีการซ่อมแซมแล้วบางส่วน

รูปที่ 3.3 ลักษณะความเสียหายยังไม่ได้รับการซ่อมแซม

3.1.3 วิธีแนวทางการแก้ไข

หลังจากได้ผลสรุปความเสียหายทั้งหมดของถนนทั้งห้าเส้น ผู้วิจัยจะนำเสนอแนวทางการแก้ไขที่เหมาะสมที่สุดในด้านวิศวกรรมศาสตร์และเศรษฐศาสตร์

3.1.4 การประมาณราคาค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง

ผู้วิจัยจะทำการประมาณราคาค่าซ่อมบำรุงทั้งห้าเส้นตามแนวทางที่กำหนดในหัวข้อ 3.1.3 โดยยึดราคาจากกรมบัญชีกลาง กระทรวงพาณิชย์ ในปี พ.ศ. 2555

3.1.5 ตรวจวัดค่าการยุบตัวของแผ่นพื้นคอนกรีตถนน

ผู้วิจัยจะทำการตรวจวัดค่าการยุบตัวของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อมีรถวิ่งผ่านด้วยเครื่องมือวัด Dial Gauge ดังรูปที่ 3.4 รถที่จะใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นรถบรรทุกคอนกรีตปริมาณ 5 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีน้ำหนัก โดยรวมประมาณ 25 ตัน ผลการศึกษานี้จะนำมาใช้ยืนยันประสิทธิภาพทางวิศวกรรมของถนนที่ได้รับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการอัดฉีดสารโพลียูรีเทค

รูปที่ 3.4 การวัดค่าการทรุดตัวของแผ่นพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.1.6 สรุปผล (Conclusions)

ผู้วิจัยจะทำการรวบรวมผลการศึกษาทั้งหมดเพื่อรายงานผลการศึกษาและนำเสนอบทสรุปที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายของถนนทั้งห้าเส้น แนวทางการแก้ไขที่เหมาะสมรวมทั้งราคาค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง และผลการยืนยันความแข็งแรงและความคงทนของถนนที่ได้รับการซ่อมบำรุงด้วยการอัดฉีดสารโพลียูรีเทค

3.2 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจ (Surveying Equipment) (รูปที่ 3.5)

3.2.1 กล้องระดับ (Level)

3.2.2 ไม้วัดระดับ (Staff)

3.2.3 ขาตั้งกล้อง (Stan)

3.2.4 เทปวัดระยะ (Measuring Tape)

3.2.5 สีสเปรย์ (Spa Color)

3.2.6 เครื่องวัดการทรุดตัว (Dial grudge)

รูปที่ 3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ

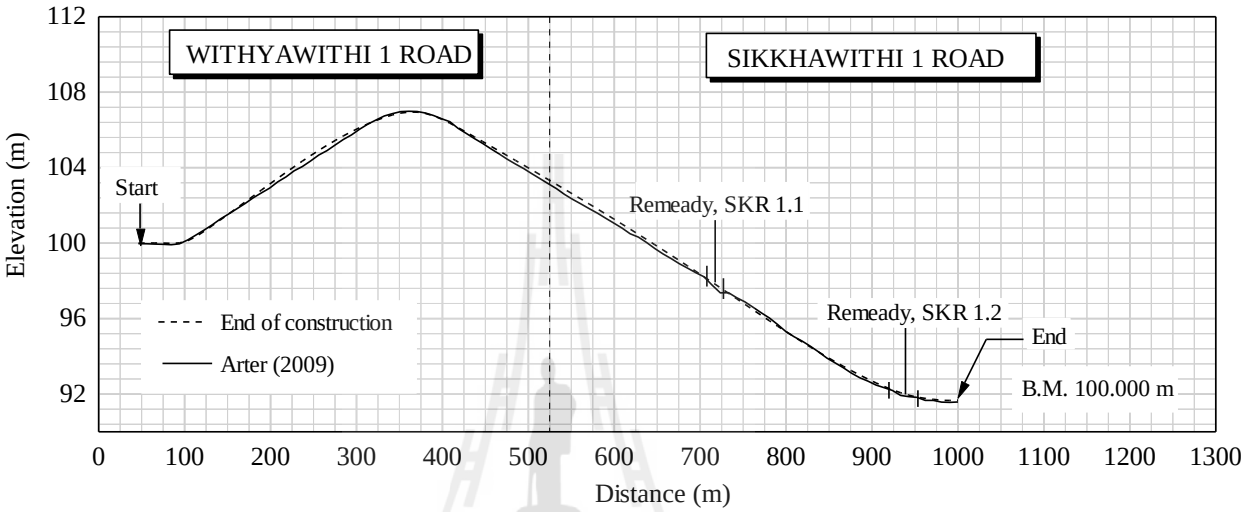
บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

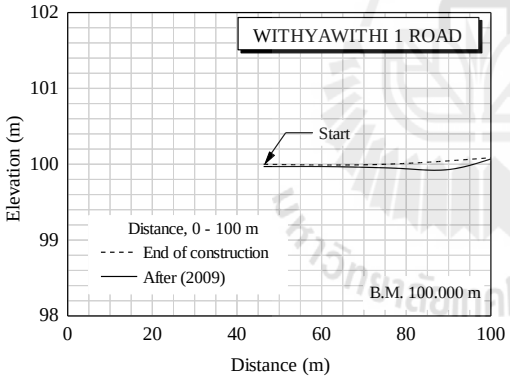
งานวิจัยนี้สำรวจความเสียหายของถนนคอนกรีตเสริมเหล็กที่ชำรุด อันเนื่องมาจากอายุการใช้งานมานานและขาดการบำรุงรักษาที่ถูกต้องอย่างต่อเนื่อง และนำเสนอแนวทางแก้ไขความเสียหายที่เหมาะสมในทางวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์ พร้อมทั้งตรวจสอบความแข็งแรงของถนนที่ซ่อมแซม ถนนที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยถนนทั้งสิ้น 5 เส้นทาง ได้แก่ ถนนวิทยวิถี 1 ต่อเนื่องถึง ถนนสิกขวิถี 1 ถนนสิกขวิถี 2 ถนนสิกขวิถี 3 ถนนวิทยวิถี 2 และถนนวิทยวิถี 3 ถนนทั้ง 5 เส้นนี้ได้เริ่มก่อสร้างภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อวันที่ 4 มกราคม 2536 ตามสัญญาเลขที่ 1/2536 โดยมีบริษัทประยูรวิศว์การช่าง จำกัด เป็นผู้รับจ้าง หลังจากใช้งานนานถึง 19 ปี (จนถึงปี พ.ศ. 2552) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมีดำริที่จะทำการแก้ไขปรับปรุงถนนทั้งห้าเส้นนี้ให้สามารถกลับมาใช้งานได้ดังเดิม การแก้ไขถนนคอนกรีตที่ชำรุดมีด้วยกันหลายวิธี ขึ้นอยู่กับลักษณะความเสียหาย ดังนั้น งานวิจัยนี้จะเริ่มต้นจากการตรวจวัดการทรุดตัวและการสำรวจความเสียหายภาคสนามของถนนทั้งห้าเส้นทาง ตามด้วยการนำเสนอแนวทางการแก้ไข พร้อมประมาณราคาค่าก่อสร้าง และการตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีการที่นำเสนอ

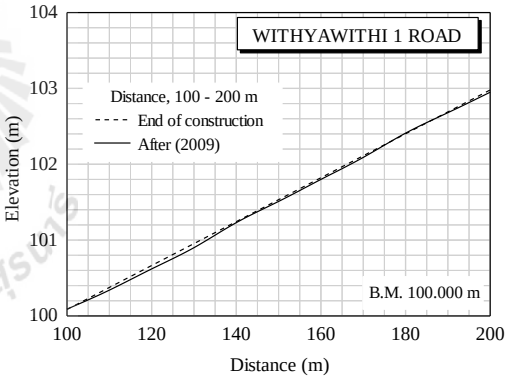
4.1 การสำรวจความเสียหายของถนนจากค่าระดับ

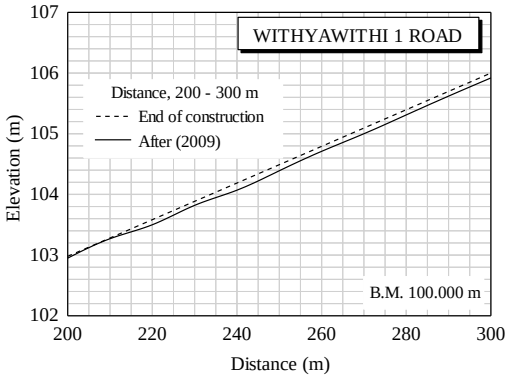
ถนนวิทยวิถี 1 ถึง ถนนสิกขวิถี 1 เป็นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ตั้งอยู่ด้านหน้าเสาธงของมหาวิทยาลัยและแยกไปทางเทคโนธานี ถนนมีความกว้าง 6 เมตร ยาว 1,020 เมตร และมีฟุตบาททางเดิน 2 ข้าง กว้างข้างละ 2 เมตร ถนนสิกขวิถี 2 เป็นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ตั้งอยู่ทางเข้าอาคารเรียนรวม 1 และมีความกว้าง 6 เมตร ยาว 420 เมตร มีฟุตบาททางเดิน 2 ข้าง กว้างข้างละ 2 เมตร ถนนสิกขวิถี 3 เป็นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ตั้งอยู่ทางเข้าอาคารเรียนรวม 2 และทางเข้าอาคารบรรณสาร และมีความกว้าง 6 เมตร ยาว 428 เมตร มีฟุตบาททางเดิน 2 ข้าง กว้างข้างละ 2 เมตร ถนนวิทยวิธี 2 เป็นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ตั้งอยู่แยกเข้าอาคารวิชาการ 1 และ 2 มีความกว้าง 6 เมตร ยาว 385.40 เมตร และมีฟุตบาททางเดิน 2 ข้าง กว้างข้างละ 2 เมตร ถนนวิทยวิถี 3 เป็นถนนคอนกรีตเสริมเหล็กตั้งอยู่แยกเข้าอาคารศูนย์เครื่องมือและวิทยาศาสตร์ มีความกว้าง 6 เมตร ยาว 435 เมตร มีฟุตบาททางเดิน 2 ข้าง กว้างข้างละ 2 เมตร รูปที่ 4.1 ถึง 4.5 แสดงค่าระดับของถนนทั้งห้าเส้นที่ตรวจวัดเมื่อ พ.ศ. 2552 เปรียบเทียบกับค่าระดับหลังสิ้นสุดการก่อสร้าง (พ.ศ. 2536) จะเห็นได้ว่าการทรุดตัวของถนนเกิดอย่างมาก (การทรุดตัวมากกว่า 10 เซนติเมตร) ในช่วง **ถนนวิทยวิถี 1 ถึง ถนนสิกขวิถี 1** ในช่วงระยะ 40 ถึง 100, 360 ถึง 380 และ870ถึง 890เมตร, **ถนน**

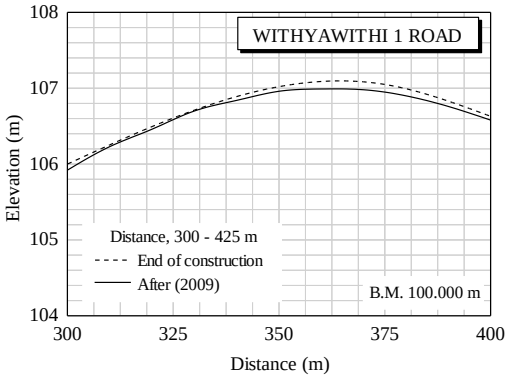
สิกขวิถี 2 ในช่วงระยะ 0 ถึง 60เมตร, **ถนนสิกขวิถี 3** ในช่วงระยะ 100 ถึง 160เมตร, **ถนนวิทยวิถี 2** ในช่วงระยะ 150 ถึง 200เมตร, **ถนนวิทยวิถี 3** ในช่วงระยะ 230 ถึง 280เมตร ช่วงที่เกิดการทรุดตัวที่มากนี้ เกิดความเสียหายอย่างมากต่อถนนคอนกรีต ลักษณะความเสียหายของถนนคอนกรีตซึ่งจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

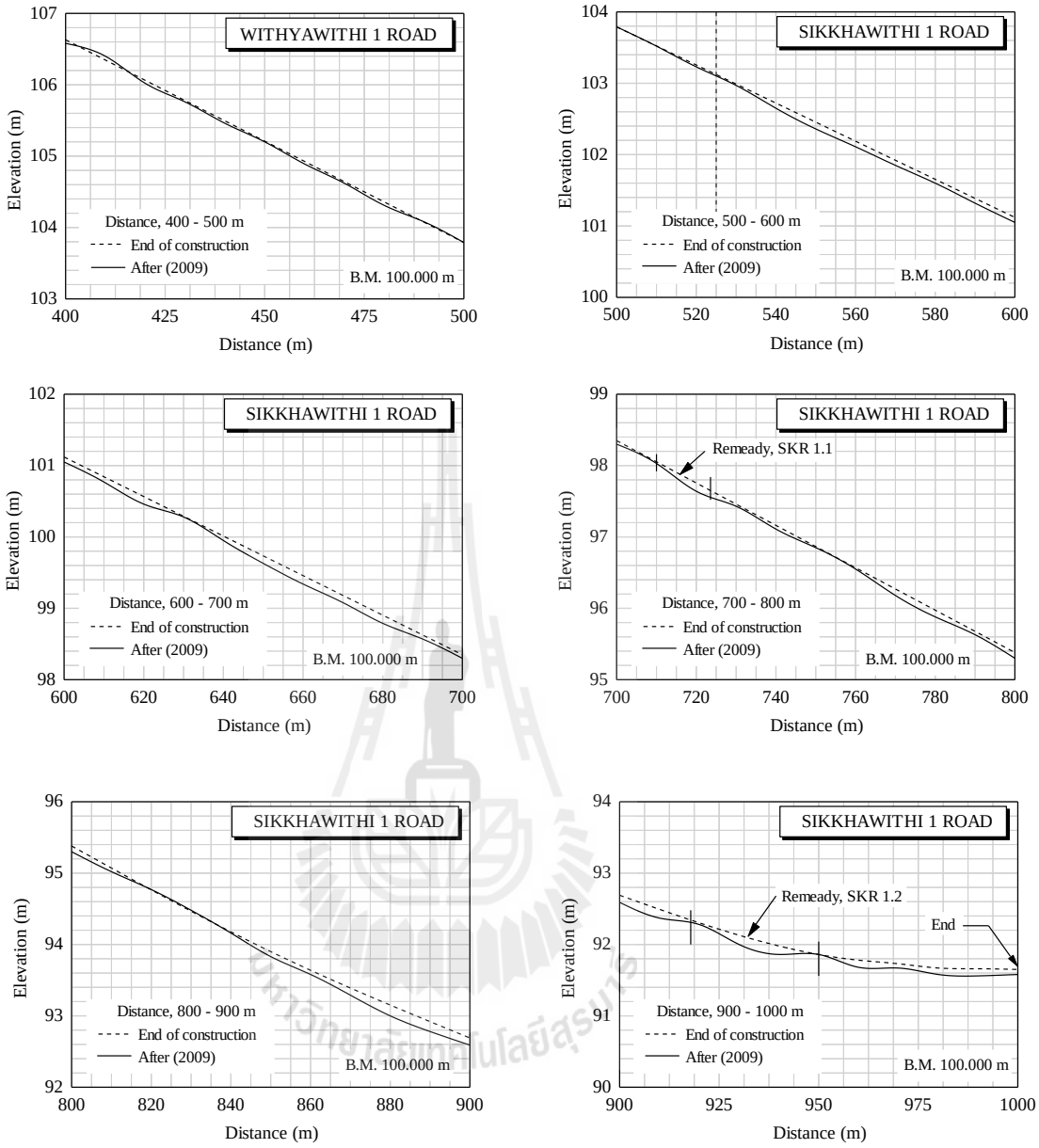




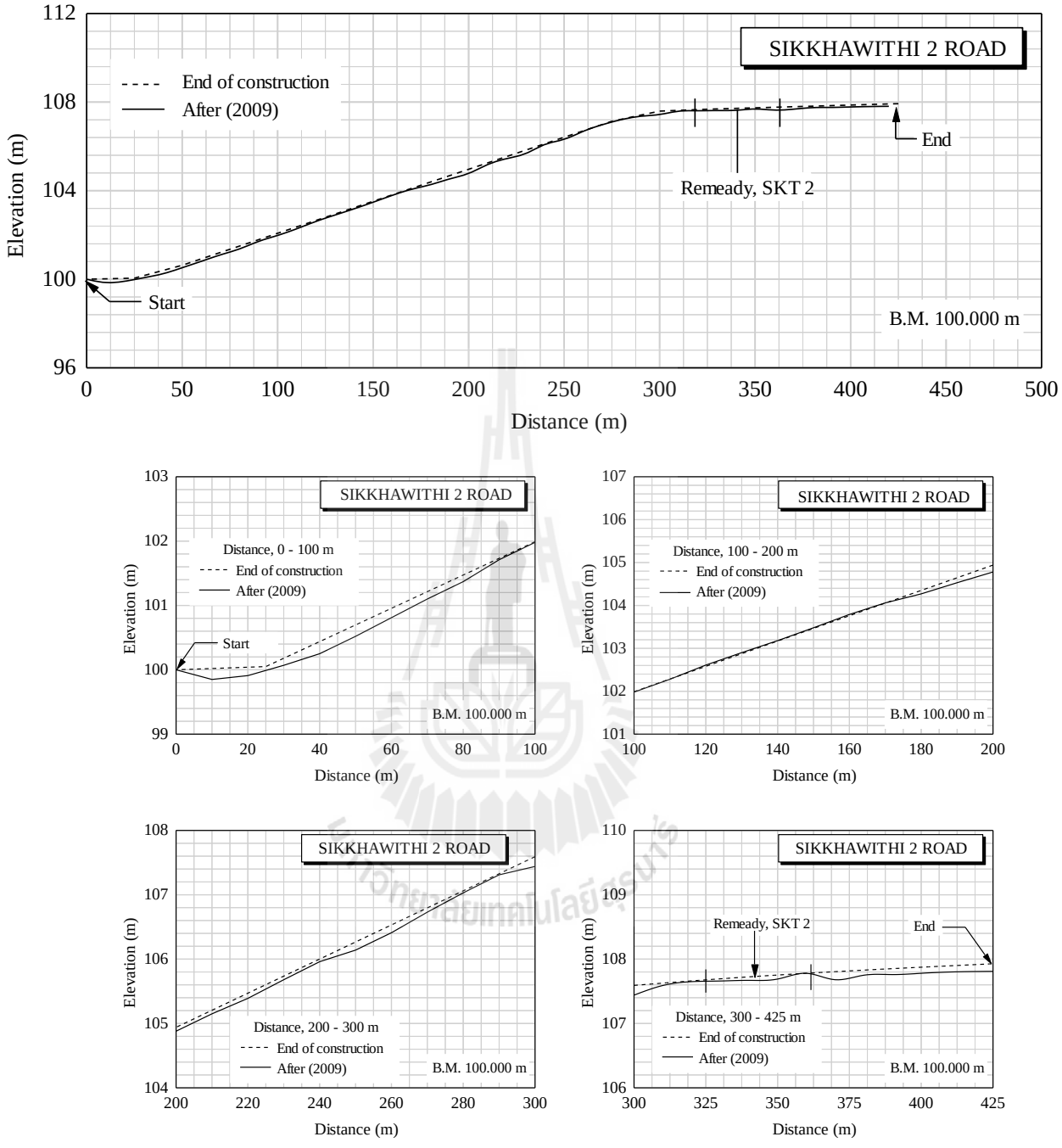




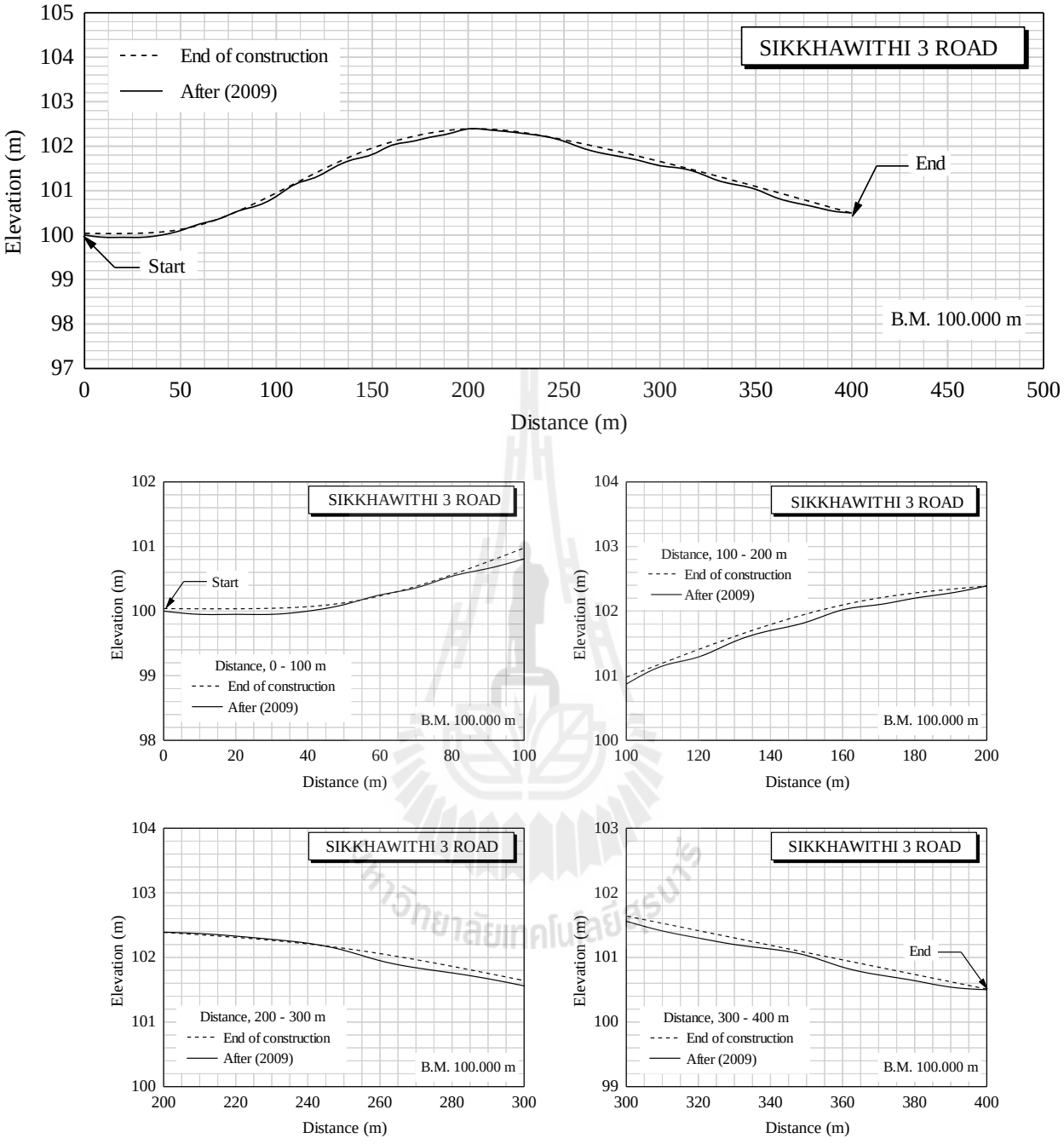




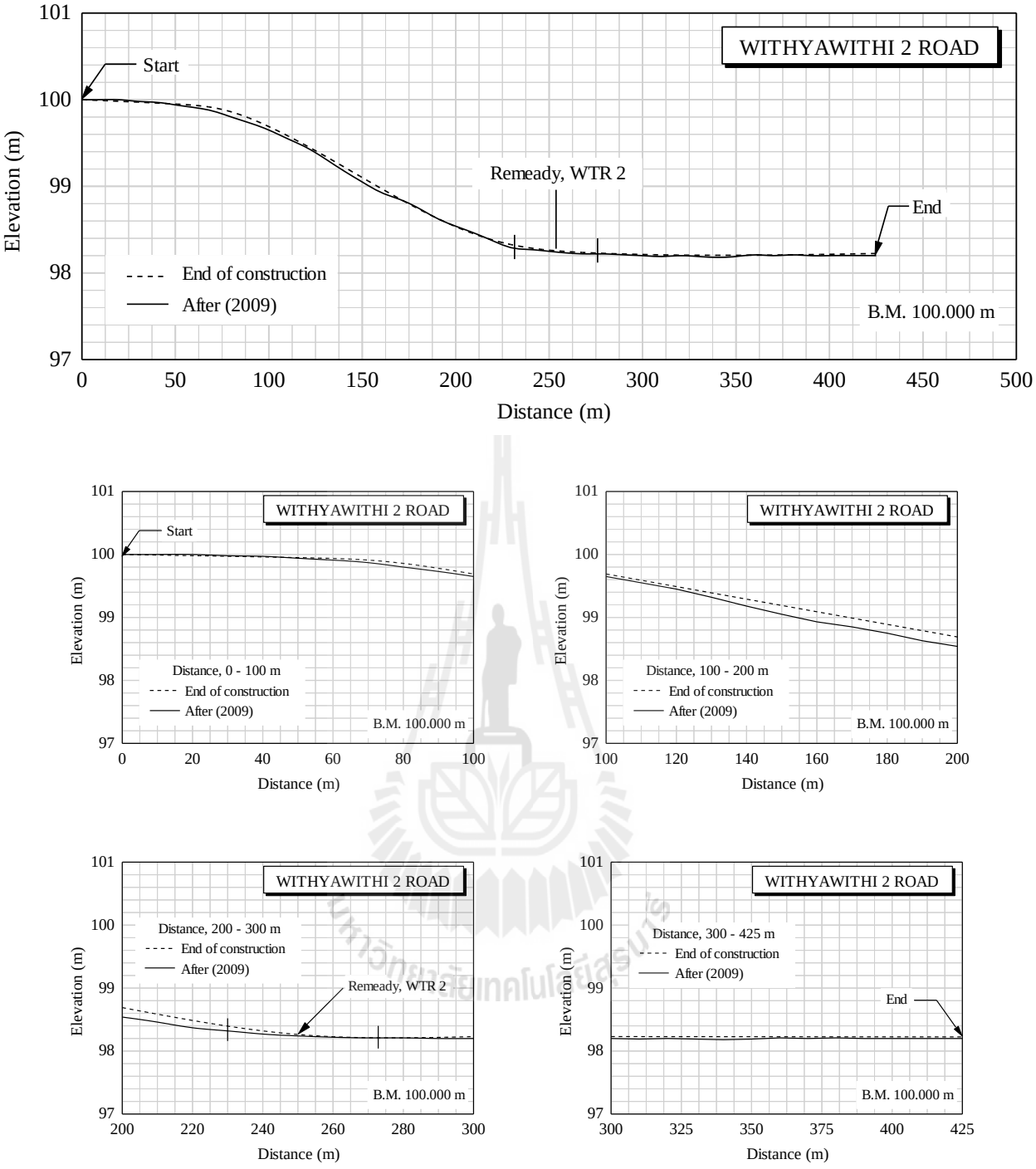
รูปที่ 4.1 ค่าระดับถนนวิทยวิถี 1 ถึง ถนนสิกขวิถี 1



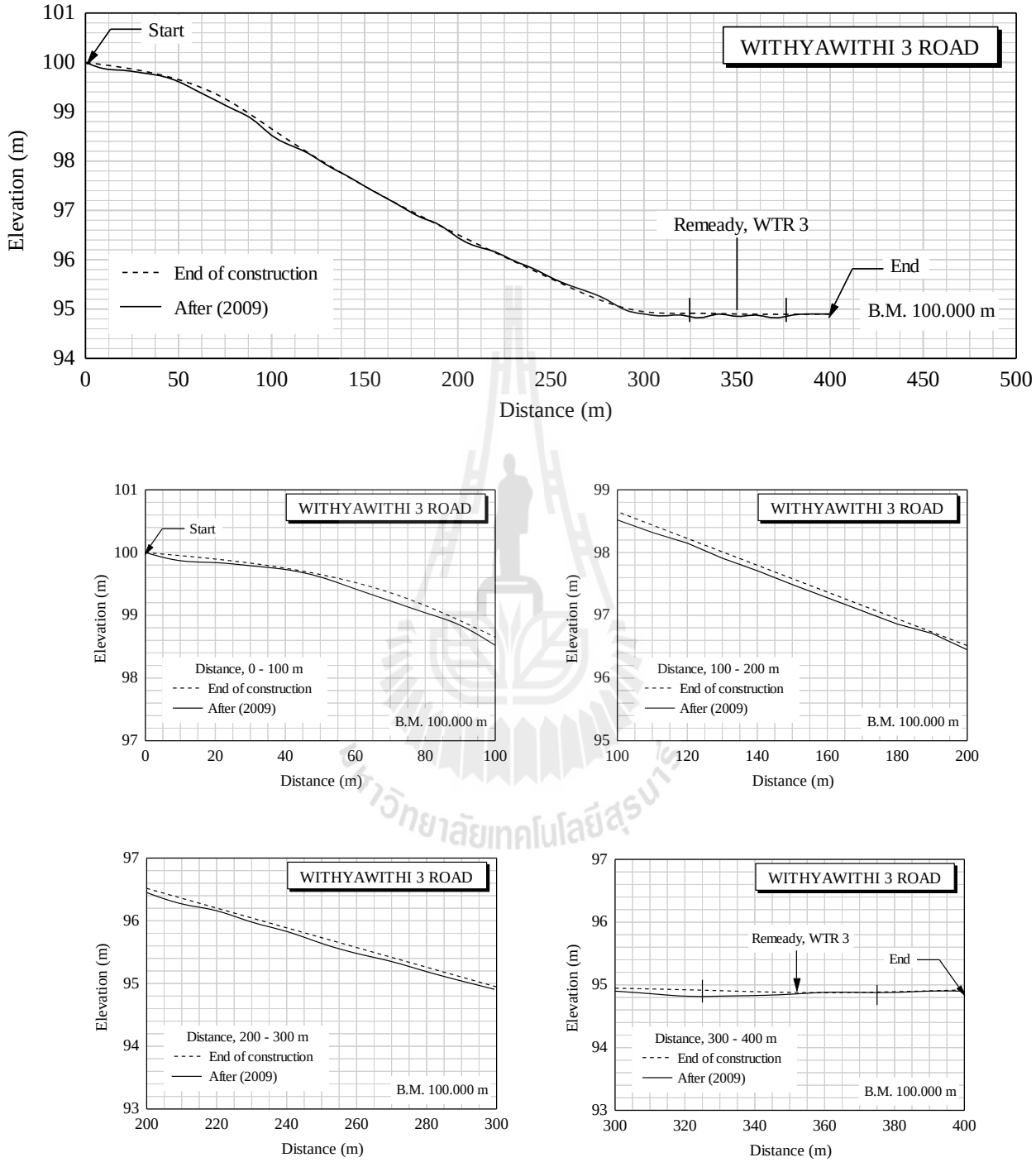
รูปที่ 4.2 ค่าระดับ ถนนสิกขวิถี 2



รูปที่ 4.3 ค่าระดับ ถนนสิกขวิถี 3



รูปที่ 4.4 ค่าระดับถนนวิทยวิถี 2



รูปที่ 4.5 ค่าระดับถนนวิทยวิถี 3

4.2 ลักษณะการชำรุดของถนนคอนกรีต

หัวข้อนี้จะสรุปลักษณะความเสียหายของถนนคอนกรีตที่พบในห้าเส้นทาง ซึ่งมีทั้งสิ้นหกลักษณะดังนี้ รูปที่ 4. 6 แสดงลักษณะความเสียหายเนื่องจากวัสดุอุดรอยต่อตามขวางชำรุด (Joint seal damage of transverse joints) เกิดจากการแทรกซึมของน้ำเข้าไปในรอยต่อ และผลักจนทำให้วัสดุอุดรอยต่อกะเทาะหลุดร่อน หรือปูดนูนขึ้นมา

รูปที่ 4.6 วัสดุอุดรอยต่อตามขวางและตามยาวชำรุด

รูปที่ 4.7 แสดงรอยแตกตามยาว (Longitudinal crack) ขนานกับแนวเส้นกึ่งกลางของผิวทาง ซึ่งอาจเกิดจากการก่อสร้างรอยต่อตามยาวที่บกพร่อง รวมกับการรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำซ้ำจากล้อพาหนะ การเปลี่ยนแปลงความเค้นเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น และอาจเกิดการวิบัติของดินฐานราก

รูปที่ 4.7 รอยแตกตามยาว

ความเสียหายเนื่องจากช่องทางจราจร และไหล่ทางยุบยุบ (Lane or shoulder drop-off) แสดงดังรูปที่ 4.8 ซึ่งจะเห็นการทรุดตัวที่แตกต่างกันระหว่าง ช่องจราจร และไหล่ทาง รูปที่ 4.9 แสดงการกะเทาะหลุดร่อนของรอยแตก หรือรอยต่อทางขวางและทางยาว (Spalling of transverse and longitudinal joint/crack) ซึ่งเป็นการแตก หัก หรือถูกกดแซะ (Chipping or fraying) ของขอบแผ่นคอนกรีตคอนกรีตภายในระยะประมาณ 0.6 เมตร ของรอยต่อหรือรอยแตก การกะเทาะหลุดร่อนไม่ขยายตัวตามแนวดิ่งตลอดความหนาของแผ่นแต่จะไปตัดทำมุมกับรอยต่อ ความเสียหายเกิดเนื่องจากการกระทำ ของยวดยานพาหนะบริเวณรอยต่อหรือรอยแตก ทำให้เกิดความเค้นที่สูงและวัสดุเกิดการล้า

รูปที่ 4.8 ช่องทางจราจร และไหล่ทางยุบ

รูปที่ 4.9 การกะเทาะหลุดร่อนของรอยแตก

รูปที่ 4.10 แสดงรอยแตกตามขวางและรอยแตกทแยง (Transverse and diagonal crack) ซึ่งเกิดจยานพาหนะที่มีน้ำหนักมากวิ่งผ่านซ้ำๆกัน เกิดจากหน่วยแรงหรือความเค้นเนื่องจากอุณหภูมิหรือความชื้นเปลี่ยนแปลงจากการหดตัวของคอนกรีต 4.11 แสดงการเลื่อน หรือยกตัว ณ บริเวณ

รอยต่อตามขวาง หรือบริเวณรอยแตก (Faulting of transverse joints and cracks) แผ่นคอนกรีต ณ บริเวณรอยต่อ หรือรอยแตกแยกตัวมีระดับแตกต่างกัน สาเหตุเนื่องจากวัสดุโครงสร้างชั้นทางที่รองรับแผ่นคอนกรีตเกิดความไม่แน่น ทำให้แผ่นคอนกรีตที่ต่อกันเกิดการทรุดตัวที่แตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากการชะล้างของน้ำที่ไหลซึมผ่านรอยต่อแผ่นคอนกรีตเมื่อยานพาหนะที่หนักวิ่งผ่านซ้ำ ๆ กัน จะทำให้แผ่นพื้นบริเวณรอยต่อหรือรอยแตกบิดเบี้ยว หรือโก่งขึ้น

รูปที่ 4.10 รอยแตกตามขวางและรอยแตกทแยง

รูปที่ 4.11 การเลื่อน หรือยกตัวของรอยต่อตามขวางหรือรอยแตก

4.3 แนวทางการแก้ไข

จากผลการสำรวจค่าระดับ (หัวข้อที่ 4.1) และความเสียหายของแผ่นคอนกรีต (หัวข้อที่ 4.2) แนวทางการดำเนินการสำรวจความเสียหายมีด้วยกันสามแนวทาง ซึ่งมีความเหมาะสมและปฏิบัติงานได้จริงภายใต้เงื่อนไข ขีดความสามารถของผู้รับเหมา ต้นทุนการก่อสร้าง ความแข็งแรง และความทันสมัย แนวทางแก้ไขทั้งสามประกอบด้วย แนวทางที่ 1: การซ่อมผิวทางคอนกรีตแบบรื้อสกัดออก (Concrete Patching) และปรับปรุงความแข็งแรงของชั้นทาง (Base)

แนวทางที่ 2: การซ่อมผิวทางคอนกรีตแบบฉีดสารโพลียูรีเทค (Polyurethane) และแนวทางที่ 3: การอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต (Sub Sealing) แนวทางที่ 1 เหมาะสมกับการซ่อมแซมผิวถนนที่เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงและหลายตำแหน่ง แนวทางที่ 2 และ 3 เป็นแนวทางที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านกำลังอัด การอัดตัว และความคงทนของชั้นทางโดยสารเคมี (เรซิน/ปูนซีเมนต์) และทำการซ่อมรอยร้าวด้วยวิธีอัดฉีด Epoxy และทำ Stitching ค่าใช้จ่ายสำหรับแนวทางที่ 2 จะสูงกว่าแนวทางที่ 3 แต่มีข้อดีที่สามารถปรับยกระดับของแผ่นคอนกรีตที่ทรุดตัวแตกต่างกันได้ เนื่องจากเรซินสามารถแข็งตัวได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้น แนวทางที่ 2 จึงใช้กับการแก้ไขแผ่นคอนกรีตที่มีค่าระดับแตกต่างกันมาก ขณะที่ แนวทางที่ 3 ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของชั้นทางและแก้ไขการแตกร้าวของผิวถนนคอนกรีตที่มีการทรุดตัวของชั้นทางไม่มาก ขั้นตอนการแก้ไขในแต่ละวิธีสามารถสรุปได้ดังนี้

แนวทางที่ 1 : การซ่อมผิวทางคอนกรีตแบบรื้อสกัดออก (Concrete Patching) เป็นการซ่อมผิวทางคอนกรีต ที่ต้องรื้อผิวคอนกรีตเดิมออกแล้วเทคอนกรีตใหม่ตามคุณสมบัติเดิม ด้วยการเจาะสกัดผิวคอนกรีตเดิมที่ชำรุดเสียหายออกทั้งแผ่น รวมทั้งขุดเอาวัสดุพื้นทางเดิมออกแล้วบดอัดใหม่ หากเห็นว่าจำเป็นต้องลงวัสดุพื้นทางใหม่เพิ่มเติม ก็ต้องลงวัสดุใหม่ที่มีคณุสมบัติเท่าเทียมกันหรือดีกว่าของเดิม ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดเฉพาะจุดและบางเส้นทางเท่านั้น

แนวทางที่ 2 : การซ่อมผิวทางคอนกรีตแบบฉีดสารโพลียูรีเทค (Polyurethane) เป็นการซ่อมพื้นอุดโพรงใต้ผิวทางคอนกรีตที่ใช้เทคโนโลยีร่วมกับสารเคมีสมัยใหม่และทันสมัย โดยมีวิธีการซ่อมที่อาศัยผู้มีความรู้ความสามารถประสบการณ์ ผ่านการอบรมจากแหล่งผู้ผลิต ดังนี้

1. การกำหนดตำแหน่งรูเจาะ
    1.1 การเจาะรูงานอุดซ่อมโพรง การกำหนดตำแหน่งรูเจาะขึ้นอยู่กับสภาพในสนามเป็นเกณฑ์ โดยพิจารณาบริเวณพื้นที่ที่เกิด Pumping Action ส่วนการกำหนดระยะห่างของรูเจาะและจำนวนรูเจาะนั้น ให้พิจารณาถึงประสิทธิภาพในการอัดฉีดวัสดุเข้าไปได้เต็มช่องว่างโพรงใต้แผ่นพื้น
    1.2 การเจาะรูงานยกปรับระดับ การกำหนดตำแหน่งรูเจาะทั้งนี้ให้ขึ้นอยู่กับสภาพในสนามเป็นเกณฑ์โดยพิจารณาบริเวณพื้นที่ที่เกิดการทรุดตัว ส่วนการกำหนดระยะห่างของรูเจาะและจำนวนรูเจาะนั้น ให้พิจารณาถึงประสิทธิภาพในการกระจายตัวของวัสดุ และเพื่อให้การซ่อมแผ่นพื้นถนนคอนกรีตมีประสิทธิภาพจะต้องทำให้วัสดุกระจายตัวเต็มพื้นที่ที่เกิดการทรุดตัว ทั้งนี้ระยะห่างระหว่างรูเจาะจะต้องมีระยะห่างประมาณ 0.6-1.2 เมตร ขึ้นอยู่กับพื้นที่การทรุดตัวของพื้นถนนคอนกรีต

2. การเจาะรู การเจาะรูจะต้องเจาะในแนวดิ่งหรือตั้งฉากกับแผ่นพื้นถนนคอนกรีต โดยทำการเจาะทะลุจนถึงชั้นที่เกิดโพรงช่องว่าง การเจาะรูต้องกระทำด้วยความระมัดระวังป้องกันมิให้เกิดการแตกร้าว การกะเทาะ หรือการหลุดออกของคอนกรีตบริเวณขอบรูเจาะ อีกทั้งจำนวนรูที่เจาะจะต้องสามารถทำการอัดฉีดวัสดุให้แล้วเสร็จในแต่ละวันได้โดยเร็ว ในกรณีที่ไม่สามารถอัดฉีดวัสดุรูที่เจาะให้แล้วเสร็จในแต่ละวันได้ ผู้รับจ้างต้องทำการอุดรูที่เจาะไว้ก่อนชั่วคราวเพื่อป้องกันความชื้น และสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ
3. การติดตั้งหัวอัดฉีด การติดตั้งหัวอัดฉีดลงบนรูที่เจาะไว้ให้แน่น โดยใช้ปลอกยาง (Expanding Rubber Packer) อุดบริเวณปลายหัว
4. การอัดฉีดสารเคมี (รูปที่ 4.12) แบ่งออกเป็นการอัดฉีดเพื่ออุดซ่อมโพรง และเพื่อการยกปรับระดับ การอัดฉีดสารเคมีเพื่ออุดซ่อมโพรงใช้แรงดันเริ่มต้นประมาณ 650 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (4.48 เมกะพาสคัล หรือ 45.70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 44.82 Bar) เข้าไปในโพรงช่องว่างใต้พื้นถนนคอนกรีต โดยจังหวะการอัดฉีดวัสดุขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างรูเจาะ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมพื้นที่การกระจายตัวของสารเคมี เพื่อให้แน่ใจว่าโพรงใต้พื้นถนนคอนกรีตถูกแทนที่ด้วยสารเคมีแล้ว ทุกตำแหน่งการอัดฉีดวัสดุจะต้องวัดระดับการยกตัวของพื้นถนนคอนกรีตได้อย่างน้อย 1 มิลลิเมตร ก่อนที่จะทำการเปลี่ยนตำแหน่งการอัดฉีดวัสดุ ทั้งนี้การพิจารณาลำดับตำแหน่งของการอัดฉีดวัสดุจะพิจารณาจุดใดก่อนหลังก็ได้

ตารางที่ 4.1 จังหวะการอัดฉีดวัสดุ

ระยะห่างระหว่างรูเจาะ(เมตร)	จังหวะการอัดฉีดวัสดุ
	อัดฉีด 2-3 วินาที หยุด 2-3 วินาที
90-120	อัดฉีด 3-4 วินาที หยุด 2-3 วินาที

ที่มา: **Uretek Company Profile. 2554 [ออนไลน์]. ได้จาก:http://www.uretekworldwide.com**

การอัดฉีดสารเคมีเพื่อปรับระดับจะเริ่มดำเนินการโดยวัดระดับการทรุดตัวทุกตำแหน่งรูเจาะและแสดงตัวเลขข้างตำแหน่งรูเจาะ เพื่อใช้พิจารณาลำดับตำแหน่งของการอัดฉีดสารเคมี โดยจะต้องเริ่มอัดฉีดวัสดุจากจุดที่มีระดับการทรุดตัวของพื้นถนนคอนกรีตจากมากไปหาน้อย การอัดฉีดสารเคมีเพื่อปรับระดับจะมีขั้นตอนเบื้องต้นคล้ายกับการอัดฉีดวัสดุงานการอุดซ่อมโพรง หากแต่หลังจากที่พื้นถนนคอนกรีตถูกยก 1 มิลลิเมตร การอัดฉีดสารเคมีจะยังคงดำเนินต่อเนื่องในจังหวะการอัดฉีดเดิม การอัดฉีดสารเคมีจะหยุดก็ต่อเมื่อมีสาเหตุดังนี้

- มีการเริ่มขยับตัวของไหลทาง โดยสังเกตจากเครื่องมือวัดการขยับตัว
- เริ่มมีรอยแตกร้าวบนผิวคอนกรีต
- ในการยกปรับระดับในแต่ละครั้งของแต่ละตำแหน่งไม่ควรเกิน 20 มิลลิเมตร
- ตำแหน่งที่กำลังทำการอัดฉีดวัสดุถูกยกจนได้ระดับที่ต้องการ

หลังจากที่มีการอัดฉีดสารเคมีครบทุกตำแหน่ง ให้ทำการวัดระดับอีกครั้งเพื่อพิจารณาลำดับตำแหน่งของการอัดฉีดวัสดุ แล้วทำการอัดฉีดสารเคมี ทั้งนี้จะต้องทำซ้ำๆ จนกว่าพื้นถนนคอนกรีตจะถูกยกจนได้ระดับที่ต้องการ

5. การอุดรูเจาะ หลังเสร็จสิ้นขั้นตอนการอัดฉีดวัสดุจะต้องทำการอุดรูเจาะด้วย Non-shrink Cement Grout โดยก่อนการอุดรูเจาะจะต้องมีการเจาะรูซ้ำให้มีความลึกอย่างน้อย 50 มิลลิเมตร วิธีดังกล่าวอัดฉีดสารเคมีนี้เหมาะแก่การแก้ไขการทรุดตัวของถนนคอนกรีตแบบขั้นบันไดและแอ่นตามขวาง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14
6. การซ่อมผิวรอยร้าวคอนกรีตด้วย Epoxy และ Stitching กับการซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy Injection เป็นการซ่อมผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดจากการแตกร้าวของแผ่นพื้นถนนคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 1 **ขั้นตอนที่ 2** **ขั้นตอน 3**

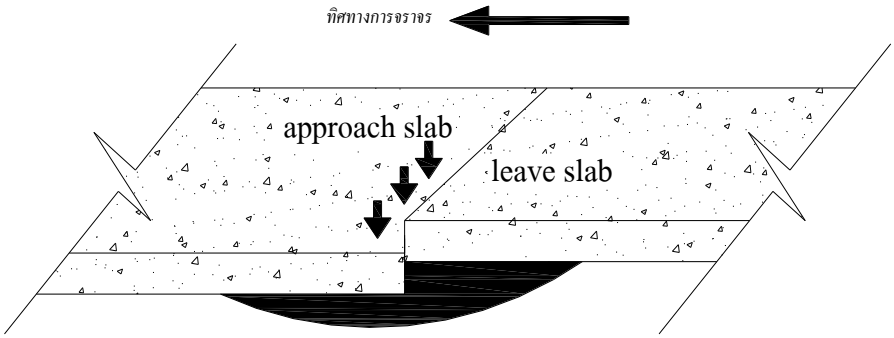
ขั้นตอนที่ 1: ฉีดสารยูรีเทนปิดโพรงใต้พื้นผิวทางคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 2: สารยูรีเทนบีบอัดตัวเอง และเพิ่มความหนาแน่นให้ดินด้านล่าง

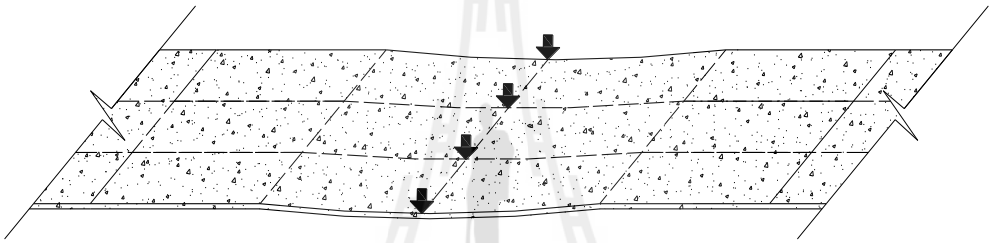
ขั้นตอนที่ 3: สารยูรีเทน ยกพื้นผิวทางคอนกรีตโดยมีเลเซอร์วัดการขยับตัวในหน่วย

ที่มา: **Uretek Company Profile. 2554 [ออนไลน์]. ได้จาก:http://www.uretekworldwide.com**

รูปที่ 4.12 หลักการทำงานวิธีฉีดสาร โพลิยูรีเทน (Polyurethane System)

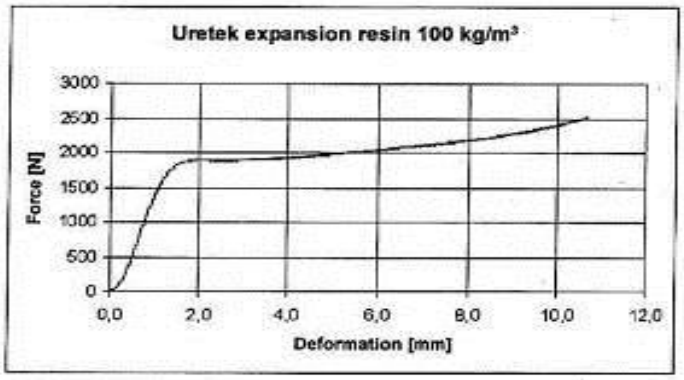


รูปที่ 4.13 ลักษณะการทรุดตัวเป็นขั้นบันได



รูปที่ 4.14 ลักษณะการทรุดตัวเป็นแอ่นตามขวาง

สารโพลิยูรีเทน (Polyurethane System) ต้องมีคุณสมบัติด้านกำลังอัด การขยายตัว และการไหล หน่วยน้ำหนัก ค่าหน่วยแรงที่ยอมรับได้ (Allowable stress) และโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของของสารโพลิยูรีเทนควรมีค่าประมาณ 100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 0.77 เมกกะปาลคาล และ 15.4 เมกกะปาสคาล การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุกระทำตามมาตรฐาน ASTM D 1621 รูปที่ 4.15 แสดงผลกทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 55 x 55 มิลลิเมตร หนา 26 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าวัสดุโพลิยูริเทนมีคุณสมบัติเหนียว (Ductile) ซึ่งเหมาะแก่การใช้เป็นวัสดุชั้นทาง (สามารถต้าทานแรงกระทำซ้ำได้เป็นอย่างดี)



รูปที่ 4.15 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัดที่มีความหนาแน่นของวัสดุ 100 kg/m^3

ความสามารถในการขยายตัวยกน้ำหนักกดทับและความสามารถในการไหลเป็นตัวควบคุมปริมาณสารโพลิยูริเทนที่จะใช้ในการซ่อมแซมและปรับยกระดับถนน ความสามารถในการยกน้ำหนักกดทับต้องไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร ความสามารถในการไหลต้องไม่น้อยกว่า 20 เซนติเมตร การทดลองหาค่าความสามารถในการยกน้ำหนักกดทับ ทำได้โดยผสมสารโพลิยูริเทนปริมาตร 30 มิลลิลิตร ในกระบอกผสมวัสดุขนาด 342 มิลลิลิตร และวางทับด้วยตุ้มน้ำหนักหนัก 20 กิโลกรัม ความดันจากการขยายตัวต้องสามารถยกตุ้มน้ำหนักได้

แนวทางที่ 3: การอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต (Sub Sealing) เป็นวิธีการซ่อมแซมถนนที่คล้ายกับแนวทางที่สอง ต่างกันตรงที่สารเคมีที่ใช้ และความสามารถในการยกแผ่นพื้นคอนกรีต หลักการและวิธีการจะคล้ายกัน ดังนี้

1. การกำหนดตำแหน่งรูเจาะขึ้นอยู่กับสภาพในสนามเป็นเกณฑ์โดยพิจารณาบริเวณพื้นที่ที่เกิด Pumping action ส่วนการกำหนดระยะห่างของรูเจาะและจำนวนรูเจาะนั้น ให้พิจารณาถึงประสิทธิภาพในการอัดฉีดส่วนผสมเข้าไปได้เต็มช่องว่างของโพรงใต้แผ่นพื้น
2. ในการเจาะรูต้องเจาะในแนวดิ่งหรือตั้งฉากกับแผ่นพื้นคอนกรีต โดยทำการเจาะทะลุถึงชั้นที่เกิดโพรงช่องว่าง การเจาะรูต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง ป้องกันมิให้เกิดการแตกร้าว การกระเทาะ หรือการหลุดออกของคอนกรีตบริเวณขอบรูเจาะ อีกทั้งจำนวนรูที่เจาะจะต้องสามารถทำการอุดซ่อมให้แล้วเสร็จในแต่ละวันโดยเร็ว ในกรณีที่ไม่สามารถอุดซ่อมรูที่เจาะให้แล้วเสร็จในแต่ละวันได้ ผู้รับจ้างต้องทำการอุดรูที่เจาะไว้ก่อนชั่วคราวเพื่อป้องกันความชื้น และสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ

3. ทำการผสมน้ำปูนอุดซ่อมตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ในรายการแบบส่วนผสม ต้องทำการผสมวัสดุทุกชนิดผสมเข้ากันได้ดี ระยะเวลาในการผสมและระยะเวลาในการใช้ส่วนผสมให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ตามแต่ละกรณีตามข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์และเวลาดำเนินการ
4. ติดตั้งหัวฉีดลงบนรูที่เจาะไว้ ในกรณีที่พบว่าชั้นทางใต้แผ่นพื้นคอนกรีตแห้งให้ทำการอัดฉีดน้ำปริมาณเล็กน้อยลงไปก่อนเพื่อเพิ่มความสามารถในการไหลของส่วนผสมและทำให้ส่วนผสมเข้าอุดช่องว่างในโพรงได้ดียิ่งขึ้น
5. ถ่ายส่วนผสมจากเครื่องผสมลงสู่ถังบรรจุส่วนผสมของเครื่องอัดฉีดส่วนผสมในปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง
6. ติดตั้งหัวฉีดลงบนรูที่เจาะไว้ให้แน่นโดยใช้ปลอกยาง (Expanding Rubber Packer) อุดตรงบริเวณปลายหัวฉีดขยายตัวอุดรูให้แน่น เพื่อป้องกันส่วนผสมไหลล้นย้อนคืนกลับบนรูเจาะในขณะที่ทำการอัดฉีด
7. ทำการอัดฉีดส่วนผสม (รูปที่ 4.16) โดยใช้แรงดันเริ่มต้นประมาณ 0.28 – 0.52 เมกะพาสคัล (40 – 75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 2.81 – 5.27 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 2.76 – 5.17 Bar.) เข้าไปในโพรงช่องว่างได้แผ่นพื้นถนนคอนกรีตจนกว่าจะเต็มหรือไหลล้นออกที่รูเจาะข้างเคียงหรือรอยต่อ ในกรณีที่ปรากฏว่าส่วนผสมไม่มีการไหลล้น ให้พิจารณาเพิ่มแรงดันขึ้นถึง 1.38 เมกะพาสคัล (200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 14.07 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 13.79 Bar.) หรือพบว่าแผ่นพื้นคอนกรีตมีการยกตัวอย่างเด่นชัดจนเสียระดับ ให้หยุดทำการอัดฉีดในรูเจาะนั้นทันที แล้วทำการอัดฉีดรูเจาะถัดไปโดยวิธีเดียวกัน

รูปที่ 4.16 การอัดน้ำปูน (Sub Sealing) ที่มา: **คู่มือการซ่อมบำรุงทาง 2549 64-69น.**

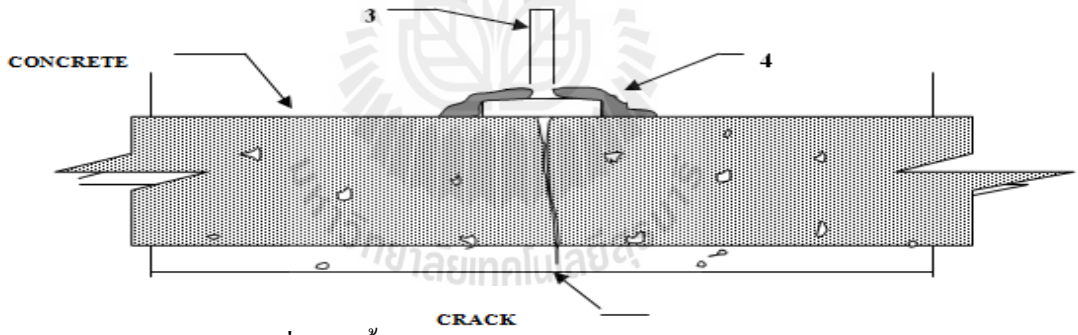
8. เมื่อทำการอัดฉีดในแต่ละรูจนเต็มให้เอาหัวฉีดออกจากรูแล้วปิดด้วยจุกแทน ทิ้งไว้ประมาณ 1-2 ชั่วโมง ถอดจุกออกตรวจสอบรู ถ้ายังปรากฏว่ามีโพรงช่องว่างอีกให้ทำการอัดฉีดซ้ำให้เต็ม แล้วปิดด้วยจุกทิ้งไว้ 3-6 ชั่วโมง ถอดจุกออกแล้วตกแต่งรูเจาะด้วยวัสดุ Cement Mortar ชนิด Fast Setting Cement ไม่หดตัว
9. ภายหลังการอุดซ่อมรูเจาะด้วย Cement Mortar ตามข้อ 8 ให้ปิดการจราจรอย่างน้อย 2 ชั่วโมง
10. ซ่อมผิวรอยร้าวคอนกรีตด้วย Epoxy และ Stitching กับการซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy Injection

ขั้นตอนการทำงานซ่อมรอยร้าวด้วยวิธีอัดฉีด Epoxy และทำ Stitching (รูปที่ 4.17) สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ทำความสะอาดบริเวณรอยร้าวด้วยแปรงลวดหรือเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูงเพื่อล้างคราบสกปรก และฝุ่นละอองต่าง ๆ ที่อยู่ในร้อยร้าวให้สะอาด
2. ทำการเป่ารอยร้าวให้แห้ง เพื่อให้การยึดเกาะระหว่าง Epoxy Adhesive กับ ผิวคอนกรีตดี
3. ทำการเซาะร่องกว้างขนาด 5 มม. ยาว 15-20 ซม. ตั้งฉากกับรอยร้าวระยะห่างระหว่างแผล 20-30 ซม.
4. ใส่เหล็กขนาด กว้าง 2.5 ซม. ยาว 15ซม. หนา 2 มม. ลงในร่องและหยอด Epoxy Adhesive ลงในร่องให้เต็ม (การทำ Stitching)
5. ทำการติดตั้งหัวอัด Injector ระยะห่างประมาณ 20 - 30 ซม.
6. ทำการฉาบปิดทับรอยร้าวด้วย Epoxy Adhesive แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้ Epoxy Adhesive แห้งแข็งตัว
7. เริ่มทำการอัดฉีด Low Viscosity Epoxy (Sikadur 752) ที่ผสมเข้ากันดีแล้ว เข้าหัว Injector จากปลายด้านใดด้านหนึ่ง ด้วยเครื่องอัดที่สามารถปรับแรงดันได้ตั้งแต่ 0 ถึง 250 bar ซึ่ง เมื่อสังเกตเห็น Epoxy ไหลล้นออกมาจึงหยุด และทำการอัดฉีด Epoxy เข้าหัว Injector ถัดไป (รูปที่ 4.18)
8. ทำการอัดฉีด Epoxy จนครบทุกหัว Injector แล้ว ปล่อยทิ้งไว้ให้ Epoxy ที่อัดเข้าไปแห้งแข็งตัว
9. ทำการเจียรแต่งผิวถนนคอนกรีตให้เรียบ

ในกรณีที่รอยแตกร้าวเล็กกว่า 0.03 มม. ไม่สามารถทำการอัดฉีด Epoxy ได้ โดยทั่วไปใช้วิธีการซ่อมโดยการ เซาะร่องและฉาบปิดทับด้วย ซิเมนต์กันซึม เพื่อป้องกันน้ำ

รูปที่ 4.17 ขั้นตอนการทำงานซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy Injection



รูปที่ 4.18 ขั้นตอนการทำงานซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy Injection

ที่มา: **Uretek Company Profile. 2554 [ออนไลน์]. ได้จาก:http://www.uretekworldwide.com**

4.4 การประมาณราคาค่าก่อสร้าง

การประมาณราคาค่าก่อสร้างจะแยกออกเป็นสามแนวทาง โดยในแต่ละแนวทางจะมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างของแต่ละเส้นทางไม่เท่ากัน ตามลำดับความเสียหายมากน้อย ตารางที่ 4.2 ถึง 4.6 แสดงรายการประมาณราคาค่าก่อสร้างสำหรับถนนทั้ง5เส้นทาง ดังนี้

ตารางที่ 4.2 สายถนนวิทยวิถี 1 ถึง ถนนสิกขวิถี 1 บริเวณหน้าเสาธง

แนวทางที่	รายการ	หน่วย	จำนวน	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	รวม
2	งานซ่อมอุดโพรง Ulithian					
	-ค่าสำรวจสภาพการซ่อม+ ค่าเดินรถ	เหมา	1	-	20,000	25,000
	- ค่าปรับระดับและยกพื้นถนน คสล.	ตร.ม.	1,010	700	350	1,060,500
	งานซ่อม Stitching & Epoxy Injection					
	- ซ่อม Stitching	ม.	119	650	350	119,000
	- ซ่อม Epoxy Injection	ม.	224	450	300	168,000
3	งานซ่อมพื้นทางอุดโพรง Sub Sealing					
	- ค่าเดินทาง	เหมา	1	-	20,000	20,000
	- ค่าน้ำอัดปูน (Cement Mortar)	ตร.ม.	600	480	280	196,000
	งานทาสีเส้นจราจร (Thermoplastic)	ตร.ม.	300	280	10	87,000
	รวม					**1,675,500.00**
	ค่า Factor 1.3347					**560,789.85**
	รวมทั้งสิ้น					**2,236,289.85**

ตารางที่ 4.3 สายถนน ถนนสิกขวิถี 2 บริเวณทางเข้าอาคารเรียนรวม 1

แนวทางที่	รายการ	หน่วย	จำนวน	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	รวม
2	งานซ่อมอุดโพรง Ulithian					
	- ค่าสำรวจสภาพการซ่อม+ ค่าเดินรถ	เหมา	1	-	20,000	25,000
	- ค่าปรับระดับและยกพื้นถนน คสล.	ตร.ม.	230	700	350	241,500
	งานซ่อม Stitching & Epoxy Injection					
	- ซ่อม Stitching	ม.	42	650	350	42,000
	- ซ่อม Epoxy Injection	ม.	126	450	300	94,500
3	งานซ่อมพื้นทางอุดโพรง Sub Sealing					
	- ค่าเดินทาง	เหมา	1	-	20,000	20,000
	- ค่าน้ำอัดปูน (Cement Mortar)	ตร.ม.	200	480	280	152,000
	งานทาสีเส้นจราจร (Thermoplastic)	ตร.ม.	150	280	10	43,500
	รวม					**618,500.00**
	ค่า Factor 1.3347					**207,011.95**
	รวมทั้งสิ้น					**825,511.95**

ตารางที่ 4.4 สายถนนสิกขวิถี 3 บริเวณทางเข้าอาคารบรรณสาร

แนวทางที่	รายการ	หน่วย	จำนวน	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	รวม
2	งานซ่อมอุดโพรง Ulithian					
	- -ค่าสำรวจสภาพการซ่อม+ ค่าเดินรถ	เหมา	1	-	20,000	25,000
	- ค่าปรับระดับและยกพื้นถนน คสล.	ตร.ม.	470	700	350	493,500
	งานซ่อม Stitching & Epoxy Injection					
	- ซ่อม Stitching	ม.	182	650	350	182,000
	- ซ่อม Epoxy Injection	ม.	231	450	300	135,000
3	งานซ่อมพื้นทางอุดโพรง Sub Sealing					
	- ค่าเดินทาง	เหมา	1	-	20,000	20,000
	- ค่าน้ำอัดปูน (Cement Mortar)	ตร.ม.	310	480	280	235,600
	งานทาสีเส้นจราจร (Thermoplastic)	ตร.ม.	320	280	10	92,800
	รวม					**1,183,900.00**
	ค่า Factor 1.3347					**396,261.33**
	รวมทั้งสิ้น					**1,580,151.33**

ตารางที่ 4.5 สายถนนวิทยวิถี 2 บริเวณทางเข้าอาคารวิชาการ1, 2

แนวทางที่	รายการ	หน่วย	จำนวน	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	รวม
1	งานซ่อมแบบรื้อสกัดออก					
	(Concrete Patching)					
	- ค่าสำรวจสภาพการซ่อม	เหมา	1	-	5,000	5,000
	- ค่ารื้อพื้นทางถนนเดิม	ตร.ม.	300	-	300	90,000
	- ค่าเทคอนกรีตและเหล็กเสริม	ตร.ม.	300	450	150	180,000
2	งานซ่อมอุดโพรง Ulithian					
	- ค่าเดินรถ	เหมา	1	-	20,000	20,000
	- ค่าปรับระดับและยกพื้นถนน คสล.	ตร.ม.	360	700	350	378,000
	งานซ่อม Stitching & Epoxy Injection					
	- ซ่อม Stitching	ม.	56	650	350	56,000
	- ซ่อม Epoxy Injection	ม.	160	450	300	120,000
3	งานซ่อมพื้นทางอุดโพรง Sub Sealing					
	- ค่าเดินทาง	เหมา	1	-	20,000	20,000
	- ค่าน้ำอัดปูน (Cement Mortar)	ตร.ม.	200	480	280	152,000

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

แนวทางที่	รายการ	หน่วย	จำนวน	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	รวม
	งานทาสีเส้นจราจร (Thermoplastic)	ตร.ม.	300	280	10	87,000
	รวม					**1,108,000.00**
	ค่า Factor 1.3347					**370,847.60**
	รวมทั้งสิ้น					**1,478,847.60**

ตารางที่ 4.6 สายถนนวิทยวิถี 3 บริเวณทางเข้าอาคารศูนย์เครื่องมือฯ 1-6

แนวทางที่	รายการ	หน่วย	จำนวน	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	รวม
1	งานซ่อมแบบรื้อสกัดออก					
	(Concrete Patching)					
	- ค่าสำรวจสภาพการซ่อม	เหมา	1	-	5,000	5,000
	- ค่ารื้อพื้นทางถนนเดิม	ตร.ม.	300	-	300	90,000
	- ค่าเทคอนกรีตและเหล็กเสริม	ตร.ม.	300	450	150	180,000
2	งานซ่อมอุดโพรง Ulithian					
	- ค่าเดินรถ	เหมา	1	-	20,000	20,000
	- ค่าปรับระดับและยกพื้นถนนคอนกรีต	ตร.ม.	470	700	350	493,500
	งานซ่อม Stitching & Epoxy Injection					
	- ซ่อม Stitching	ม.	152	650	350	152,000
	- ซ่อม Epoxy Injection	ม.	181	450	300	135,750
3	งานทาสีเส้นจราจร (Thermoplastic)	ตร.ม.	300	280	10	87,000
	รวม					**1,653,250.00**
	ค่า Factor 1.3347					**389,339.77**
	รวมทั้งสิ้น					**2,042,589.77**

ข้อสังเกต : จะเห็นได้ว่าในการแก้ไขโครงการ จะมีแนวทางการแก้ไขที่2 อยู่ทุกเส้นทาง อันเนื่องมาจากการทรุดตัวของผิวทางไม่เท่ากันเป็นช่วงๆ จึงจำเป็นต้องปรับยกผิวทางจราจรให้ได้ระดับแล้วค่อยปิดรอยแตกร้าวด้วยวิธี Stitching & Epoxy Injection เป็นช่วงๆบางเส้นทาง

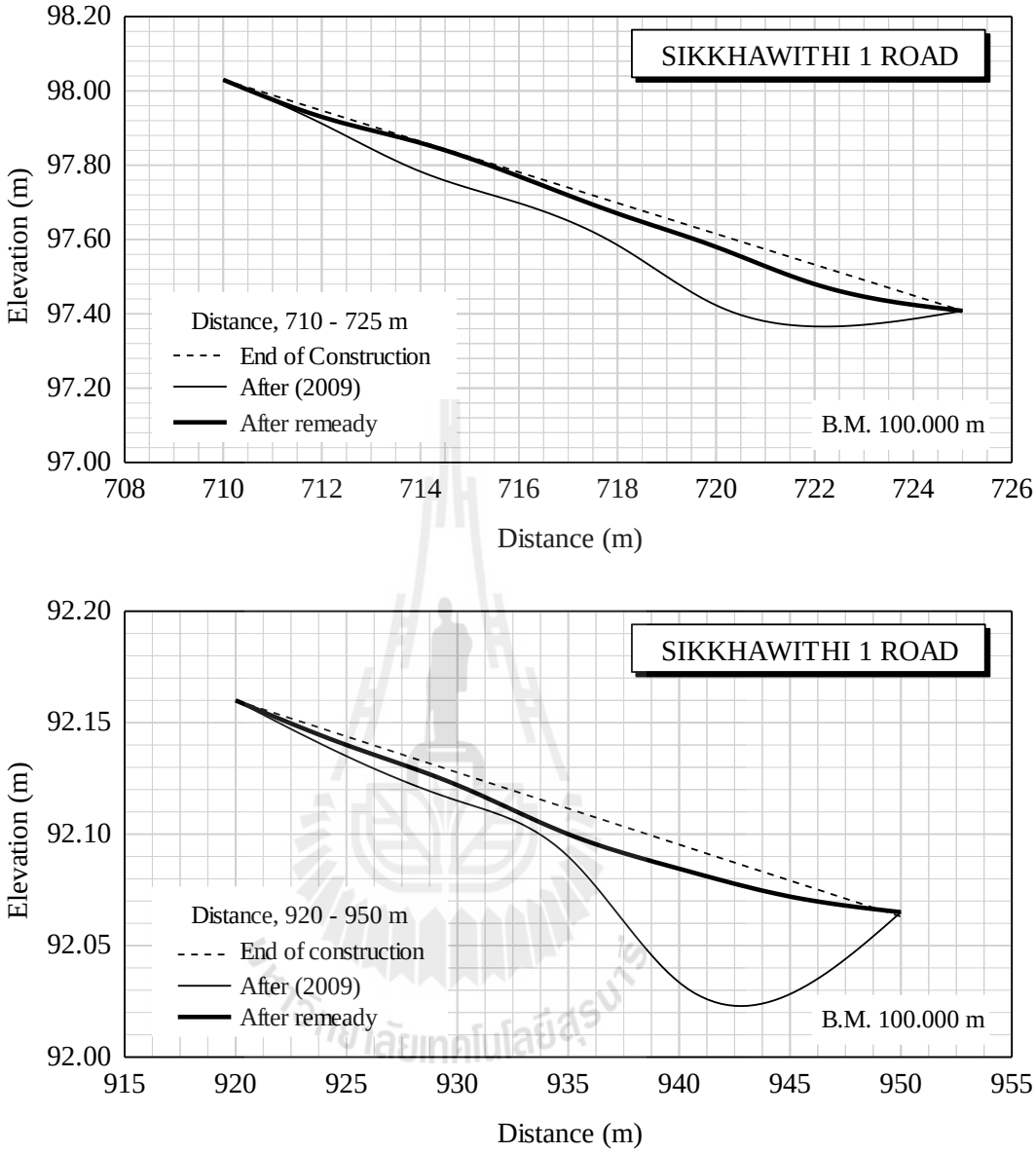
4.5 การตรวจสอบการทรุดตัวของถนน คสล.ที่ซ่อมด้วยวิธีฉีดสารโพลียูรีเทค (Polyurethane)

เนื่องจากแนวทางที่2 เป็นแนวทางที่ก่อสร้างได้รวดเร็วและสามารถปรับยกระดับได้ แนวทางนี้จึงน่าจะเป็นแนวทางหลักในการแก้ไข แต่อย่างไรก็ตาม แนวทางนี้ยังไม่เคยประยุกต์ใช้

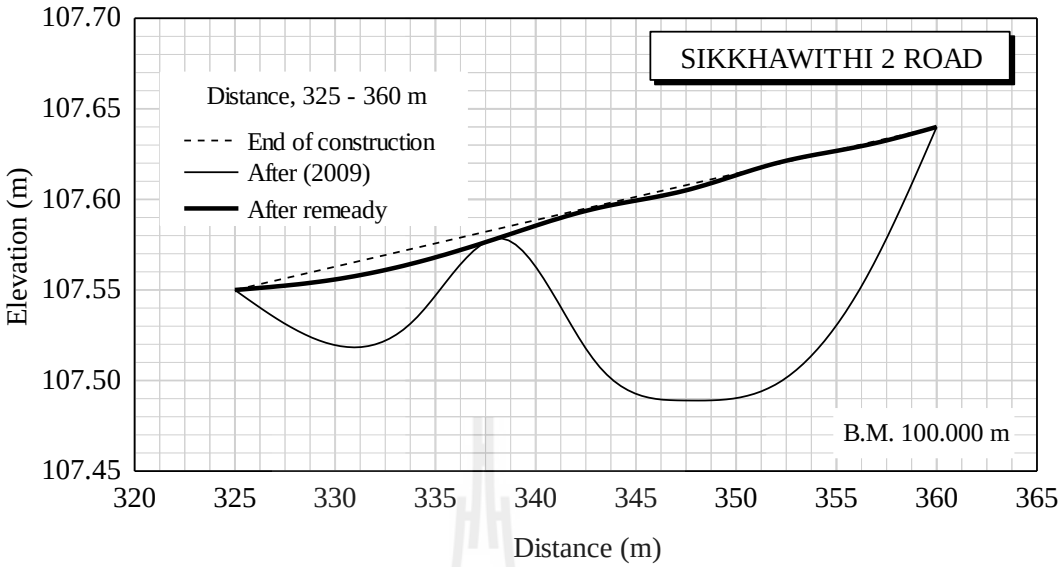
มาก่อนกับดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นดินเหนียวไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ แนวทางนี้จึงควรได้รับการตรวจสอบความเหมาะสมก่อนเริ่มทำงานจริง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จึงได้มีดำริให้ทำแปลงทดสอบ(pilot test) ในบางจุดของถนนทั้งห้าเส้น (รูปที่4.19) ช่วงที่ทำการซ่อมแซมโดยแนวทางที่2นี้ได้แสดงดังรูป 4.1 ถึง 4.5 การก่อสร้างเริ่มต้นเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 ตามสัญญาเลขที่ 122/2552 รูปที่ 4.20 ถึง 4.23 แสดงระดับของถนนหลังการแก้ไขด้วยแนวทางที่2 แล้วเป็นเวลา 3ปี (พ.ศ.2555) เปรียบเทียบระดับถนนหลังสิ้นสุดโครงการก่อสร้าง (พ.ศ.2536) และระดับถนนหลังใช้งานแล้ว 19ปี ก่อนการแก้ไข(พ.ศ.2552) จะเห็นได้ว่าแนวทางที่2 มีประสิทธิภาพในการยกปรับระดับถนน และมีความคงทนตลอดอายุการใช้งาน 3ปี

รูปที่ 4.19 การซ่อมแซมอุดโพรงแผ่นพื้นคอนกรีตผิวทางแบบฉีดสารโพลียูรีเทค
เมื่อปี พ.ศ.2552

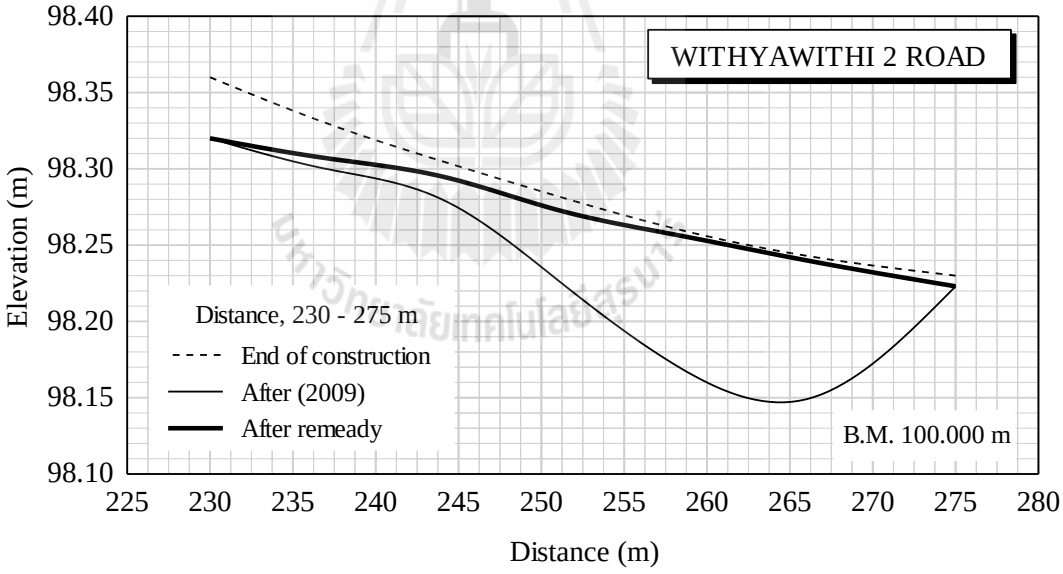
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



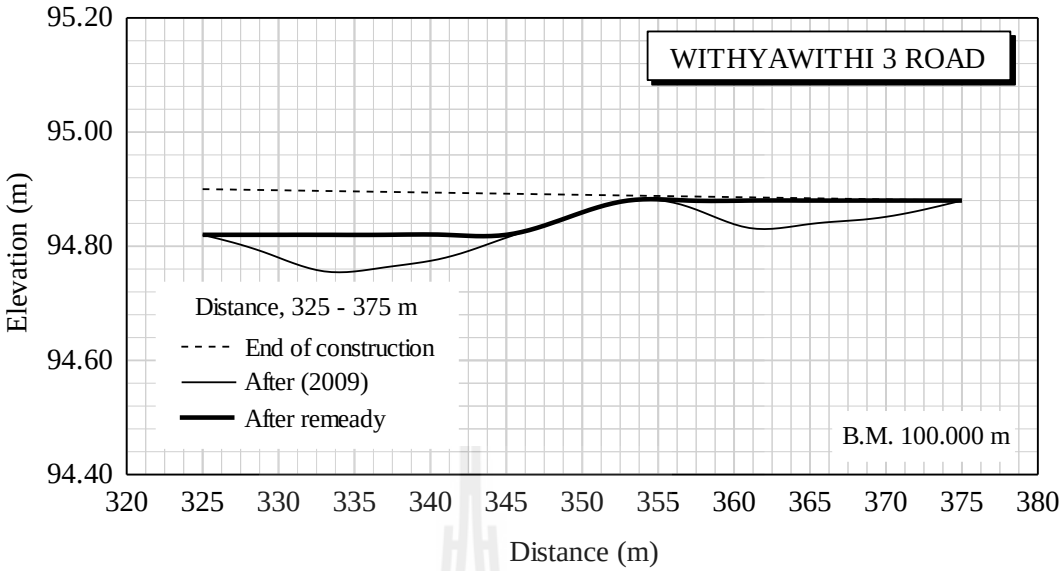
รูปที่ 4.20 ค่าระดับถนนสิกขวิถี 1 (SKR1.1, SKR1.2) หลังปรับปรุง



รูปที่ 4.21 ค่าระดับถนนสิกขวิถี 2 (SKR2) หลังปรับปรุง



รูปที่ 4.22 ค่าระดับถนนวิทยวิถี 2 (WTR2) หลังปรับปรุง

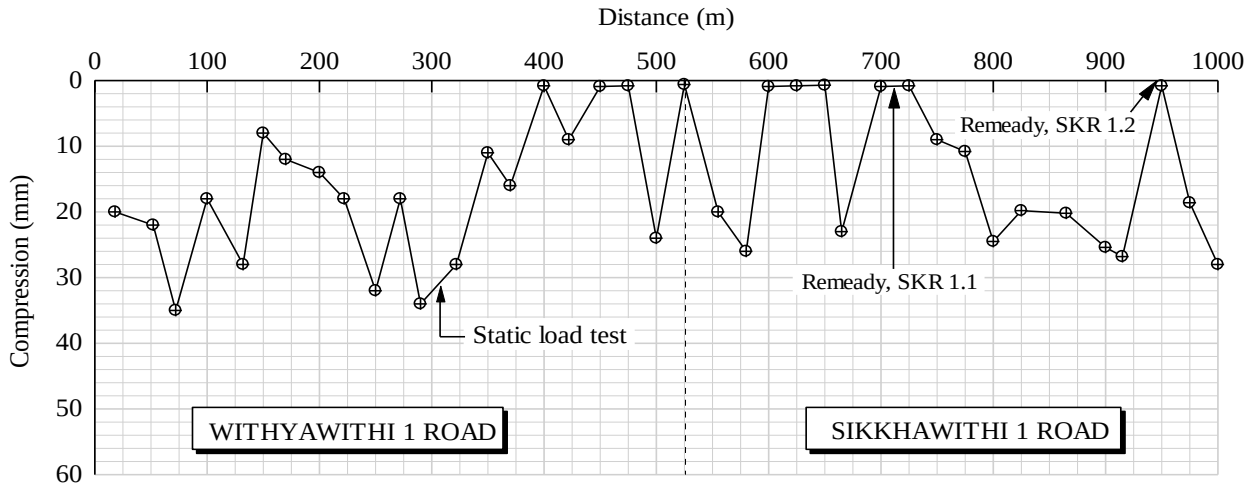


รูปที่ 4.23 ค่าระดับถนนวิทยวิถี 3 (WTR3) หลังปรับปรุง

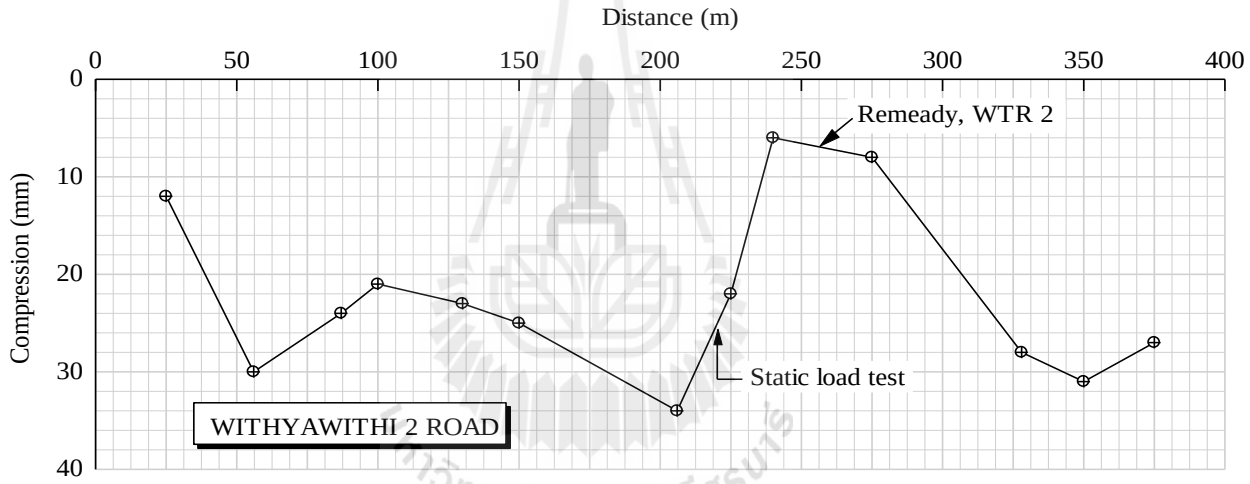
นอกจากการตรวจสอบด้วยการวัดระดับของถนนแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดการยุบตัวของถนนคอนกรีตเนื่องตากน้ำหนักยวดยานที่วิ่งผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 4.23 รถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบเป็นรถสิบล้อรถบรรทุกคอนกรีตปริมาตร 5 ลูกบาศก์เมตร การยุบตัวของถนนขณะวิ่งผ่านวัดด้วยมาตรวัดการเสียรูป (dial gauge) เพื่อให้เห็นถึงความสามารถในการต้านการยุบตัวของช่วงถนนที่ได้รับการซ่อมแซมด้วย แนวทางที่ 2 ผลการยุบตัวของถนนในช่วงที่ได้รับการแก้ไขจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับถนนช่วงที่ไม่ได้รับการแก้ไข รูปที่ 4.25 และ4.26 แสดงผลการยุบตัวของแผ่นคอนกรีตในถนนวิทยวิถี 1 ถึง ถนนสิกขวิถี 1และวิทยวิถี2 จะเห็นได้ว่าการยุบตัวมีค่าแปรปรวนอย่างมาก จะมีเกิดขึ้นมากที่สุดถึง 38 มิลลิเมตร แผ่นคอนกรีตช่วงที่มีความสมบูรณ์ (ชั้นทางมีความแข็งแรงเพียงพอ) เกิดการยุบตัวน้อย การยุบตัวของแผ่นคอนกรีตที่สูงแสดงให้เห็นว่าชั้นทางที่รองรับแผ่นคอนกรีตอาจเป็นโพรง แม้ว่าในบางตำแหน่งแผ่นคอนกรีตอาจยังไม่เกิดการชำรุดเสียหาย แต่คาดว่าน่าจะเกิดความเสียหายได้ในอนาคต การยุบตัวของแผ่นคอนกรีตเกิดขึ้นน้อยมากประมาณ 1 มิลลิเมตร ในช่วงถนนที่ได้รับการปรับแก้ (Remeady SKR 1.1, Remeady SKR 1.2 และ, Remeady WTR 2) ซึ่งถนนวิทยวิถี2 เป็นเส้นทางการลำเรียงคอนกรีต4,580ลูกบาลศ์เมตรและวัสดุก่อสร้างในช่วงปี พ.ศ.2553-2555 เพื่อก่อสร้างอาคารวิชาการ2

ผลการตรวจการวัดการยุบตัวนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการแก้ไขด้วยแนวทางที่ 2 ผลการตรวจวัดการยุบตัวของถนนแสดงให้เห็นว่าชั้นทาง ใต้ถนนคอนกรีตมีโพรงจำนวนมากและจำเป็นต้องได้รับการซ่อมแซม

รูปที่ 4.24 การทดสอบค่ายุบตัวของแผ่นพื้นคอนกรีต



รูปที่ 4.25 การทดสอบค่ายุบตัวของแผ่นพื้นคอนกรีต



รูปที่ 4.26 การทดสอบค่ายุบตัวของแผ่นพื้นคอนกรีต

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ก่อตั้งเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2533 นับตั้งแต่ก่อตั้งมหาวิทยาลัย (เป็นเวลา 22 ปีแล้ว) ถนนภายในมหาวิทยาลัยยังไม่เคยได้รับการซ่อมบำรุงอย่างเต็มรูปแบบ เป็นเพียงการซ่อมแซมเล็กน้อยตามบริเวณที่เกิดความเสียหายเท่านั้น ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจการแตกร้าวของถนนคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งสิ้น 5 เส้นทาง ได้แก่ ถนนวิทยวิถี 1 ถึง ถนนสิกขวิถี 1 ถนนสิกขวิถี 2 ถนนสิกขวิถี 3 ถนนวิทยวิธี 2 และถนนวิทยวิถี 3 ถนนทั้งห้าเส้นนี้เกิดความเสียหายในลักษณะเดียวกัน ลักษณะการเสียหายประกอบด้วยความเสียหายเนื่องจากวัสดุอุดรอยต่อตามขวางชำรุด (Joint seal damage of transverse joints) รอยแตกตามยาว (Longitudinal crack) ความเสียหายเนื่องจากช่องทางจราจรและไหล่ทางยุบ (Lane or shoulder drop-off) การกะเทาะหลุดร่อนของรอยแตก และรอยต่อทางขวางและทางยาว (Spalling of transverse and longitudinal joint/crack) และรอยแตกตามขวางและรอยแตกทแยง (Transverse and diagonal crack) การเสียหายเกิดเนื่องจากการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดร่องระหว่างแผ่นถนนคอนกรีต จึงทำให้น้ำสามารถซึมลงไปเซาะชั้นทางและเกิดเป็นโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวของแผ่นคอนกรีตในบริเวณต่างๆ เมื่อมีการสัญจรยวดยานวิ่งผ่าน แนวทางการแก้ไขที่เหมาะสมมีด้วยกันสามแนวทาง ได้แก่ แนวทางที่หนึ่ง: การซ่อมผิวทางคอนกรีตแบบรื้อสกัดออก (Concrete Patching) แนวทางที่ 2: การซ่อมผิวทางคอนกรีตแบบฉีดสารโพลียูรีเทค (Polyurethane) และการซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy และทำ Stitching กับการซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy Injection และแนวทางที่ 3: การอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต (Sub Sealing) และการซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy และทำ Stitching กับการซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy Injection ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของผิวถนน แนวทางที่สองสามารถประยุกต์ใช้กับช่วงถนนที่มีการทรุดตัวของแผ่นคอนกรีตเพื่อยกปรับระดับ แนวทางทั้งสามนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันในการซ่อมแซมถนนทั้งห้าเส้น โดยมีบทสรุปรายการประมาณค่าใช้จ่ายด้วยราคาค่าก่อสร้างในปี พ.ศ. 2555 ดังนี้

แนวทางที่หนึ่งใช้ในการซ่อมแซมแผ่นพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็กในถนนวิทยวิถี 2 จำนวน 300 ตารางเมตร และถนนวิทยวิถี 3 จำนวน 300 ตารางเมตร ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมถนนทั้งสองด้วยแนวทางนี้มีมูลค่าทั้งสิ้น 367,042.50 บาท และ 367,042.50 บาท ตามลำดับ แนวทางที่สองใช้ในการซ่อมแผ่นพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็กในถนนวิทยวิถี 1 ถึง ถนนสิกขวิถี 1 จำนวน 1,010 ตารางเมตร ถนนสิกขวิถี 2 จำนวน 230 ตารางเมตร ถนนสิกขวิถี 3 จำนวน 470 ตารางเมตร ถนนวิทยวิถี 2 จำนวน 360 ตารางเมตร ถนนวิทยวิถี 3 จำนวน 470 ตารางเมตร ค่าใช้จ่ายในการ

ซ่อมแซมถนนทั้งห้าเส้นด้วยแนวทางนี้มีมูลค่าทั้งสิ้น1,831,875.75 บาท 537,884.10 บาท 1,124,141.85 บาท 766,117.80 บาท และ 1,185,547.27 บาท ตามลำดับ แนวทางที่สามใช้ในการซ่อมแผ่นพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็กในเส้นถนนวิทยวิถี 1 ถึง ถนนสิกขวิถี 1 จำนวน 600 เมตร ถนนสิกขวิถี 2 จำนวน 200 เมตร ถนนสิกขวิถี 3 จำนวน 310 เมตร ถนนวิทยวิถี 2 จำนวน 200 เมตร ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมถนนทั้งสี่เส้นด้วยแนวทางนี้มีมูลค่าทั้งสิ้น 404,414.10 บาท 287,627.85 บาท 438,315.48 และ 345,687.30 บาท ตามลำดับ

การซ่อมแซมถนนด้วยแนวทางที่สองได้รับการพิสูจน์ความแข็งแรงและคงทนด้วยการตรวจวัดความแข็งแรงและค่าระดับของถนนคอนกรีต รวมทั้งค่าการยุบตัวเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกจากรถบรรทุกคอนกรีต ถนนทั้งห้าเส้นทางนี้ได้รับการซ่อมแซมในบางตำแหน่งด้วยแนวทางที่สองในปี พ.ศ. 2552 เป็นจำนวน 890 ตารางเมตร และซ่อมผิวทางด้วยด้วยการฉีด Epoxy จำนวน 263 เมตร และซ่อมฉีด Epoxy Stitching จำนวน 177 เมตร ผลการตรวจวัดค่าระดับพบว่าแนวถนนในตำแหน่งที่ได้รับการซ่อมแซมยังคงอยู่ในสภาพเดิม แม้ใช้งานมาแล้ว 3 ปี นอกจากนี้ ผลการการยุบตัวของถนนเนื่องจากน้ำหนักยวดยานบริเวณที่ได้รับการซ่อมแซมยังมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่ได้รับการปรับแก้ เนื่องจากการทดสอบอยู่ในช่วงอายุการใช้งาน 3 ปีเท่านั้น

งานวิจัยนี้จึงยืนยันความแข็งแรงและคงทนของถนนที่ซ่อมบำรุงด้วยวิธีการนี้เพียงอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 3 ปี ทั้งนี้ เพื่อให้ประโยชน์สูงสุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีควรมีการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2536 **สัญญาก่อสร้างถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี** เลขที่ 1/2536 ลงวันที่4มกราคม2536

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2552 **สัญญาก่อสร้างถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี** เลขที่ 122/2552 ลงวันที่27พฤษภาคม2552

บริษัท เชนี่เอนจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด. **2533 การสำรวจออกแบบถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.** รายละเอียดควบคุมการก่อสร้าง และมาตรฐานวัสดุ. 115 น.

Uretek Company Profile. **2555 คู่มือการซ่อมแซมถนนซ่อมอุดโพรง และยกปรับระดับด้วยสารโพลียูรีเทน**. 20 น.

Uretek Company Profile. **2554** โครงการปิดโพรงด้านล่าง **Approach slab ด้วยวิธียูรีเทค** [ออนไลน์]. ได้จาก:http://www.uretekworldwide.com

กรมทางหลวง.2552 **ข้อกำหนดพิเศษเพื่อศึกษาวิจัยงานปิดซ่อมโพรง และยกปรับระดับด้วย สารโพลียูรีเทน_ทางหลวง หมายเลข 3ต่อแยกทางของกรุงเทพมหานคร** (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) – บรรจบทางหลวงหมายเลข3202 (บึงกุ่ม) ระหว่าง กม.6+150 – กม.6+250 (ด้านซ้ายทาง)**.** 22 น.

สำนักบริหารบำรุงทาง. ตุลาคม 2549 **คู่มือซ่อมบำรุงทางหลวง (Road Maintenance Manual)** วิธีซ่อมผิวทางคอนกรีต. 105-125น.

สำนักบริหารบำรุงทาง. 2549 **คู่มือการตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทาง** ประเภทและชนิดความเสียหายทางคอนกรีต.บทที่6

ภาคผนวก ก
วิธีการทดลองหาค่าความสามารถในการรับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แรงอัด

เครื่องมือและอุปกรณ์

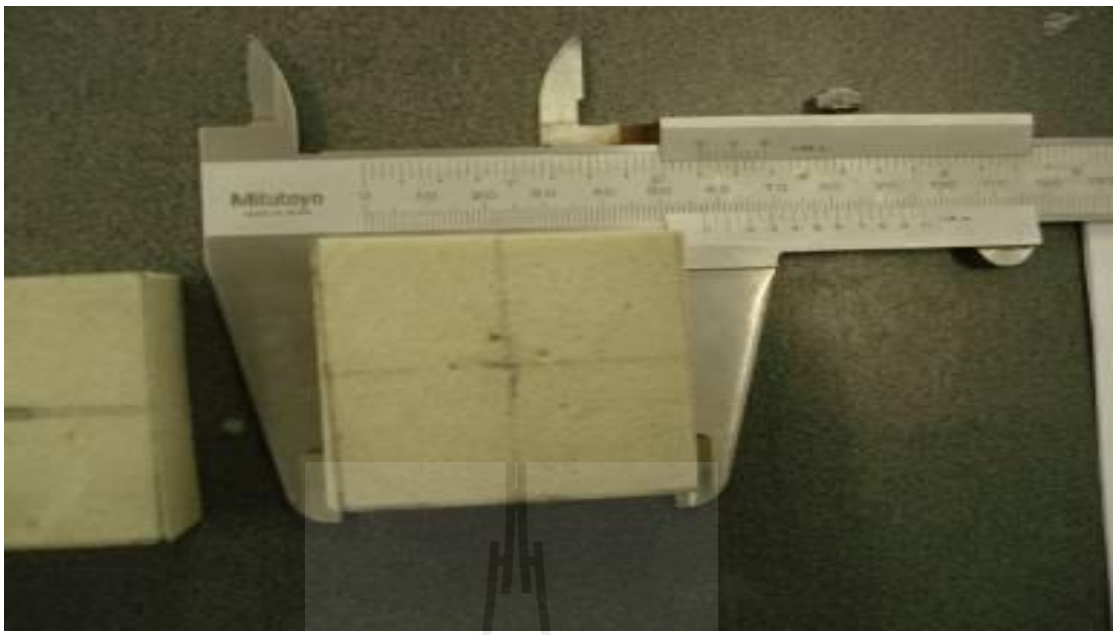
1. เครื่องกดตัวอย่าง (Compression Machine)

ภาพ Compression Machine

2. วงแหวนวัดแรง (Proving Ring) และมาตรวัดการทรุดตัวหรือยืดหดตัว (Dial Gauge)

ภาพ Proving Ring

3. ตัวอย่างวัสดุขนาดความกว้าง 55 มิลลิเมตร ยาว 55 มิลลิเมตร หนา 26 มิลลิเมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง ทั้งนี้น้ำหนักของวัสดุจะต้องมีความหนาแน่นของวัสดุเท่ากับความหนาแน่นของวัสดุ ตามข้อ 4.1 หรือ± 5%



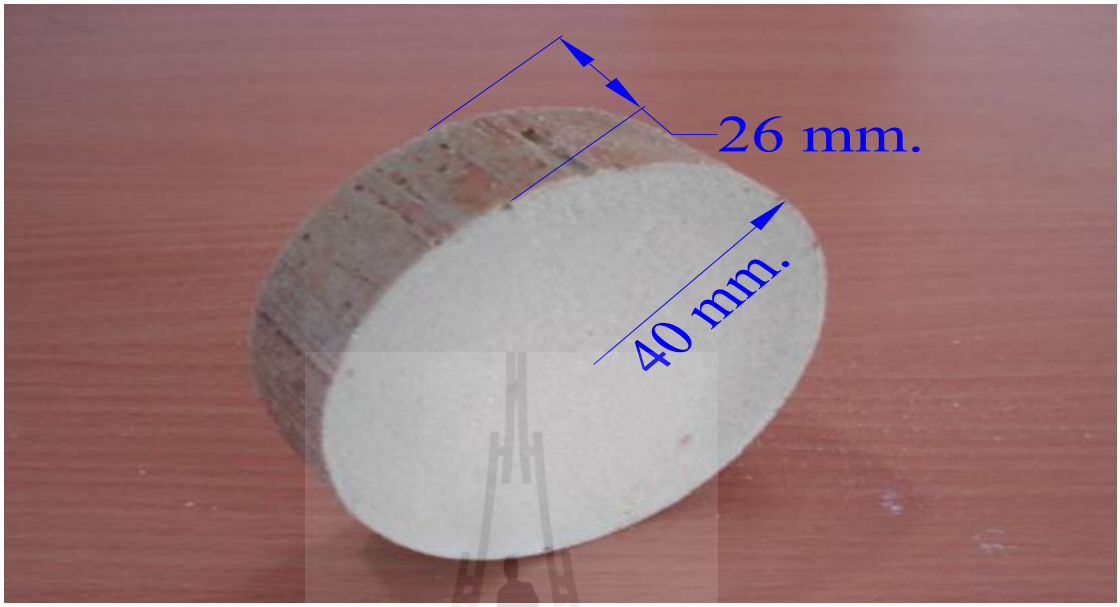
ภาพตัวอย่างวัสดุ

วิธีการทดลอง

1. ฉีดวัสดุเข้าไปในแบบหล่อทรงกระบอกขนาด Ø 80 มิลลิเมตร ยาว 480 มิลลิเมตร โดยปริมาณวัสดุที่จะทำการฉีดเข้าไปต้องมีความสัมพันธ กับ ความหนาแน่นของวัสดุ ตามข้อ 4.1

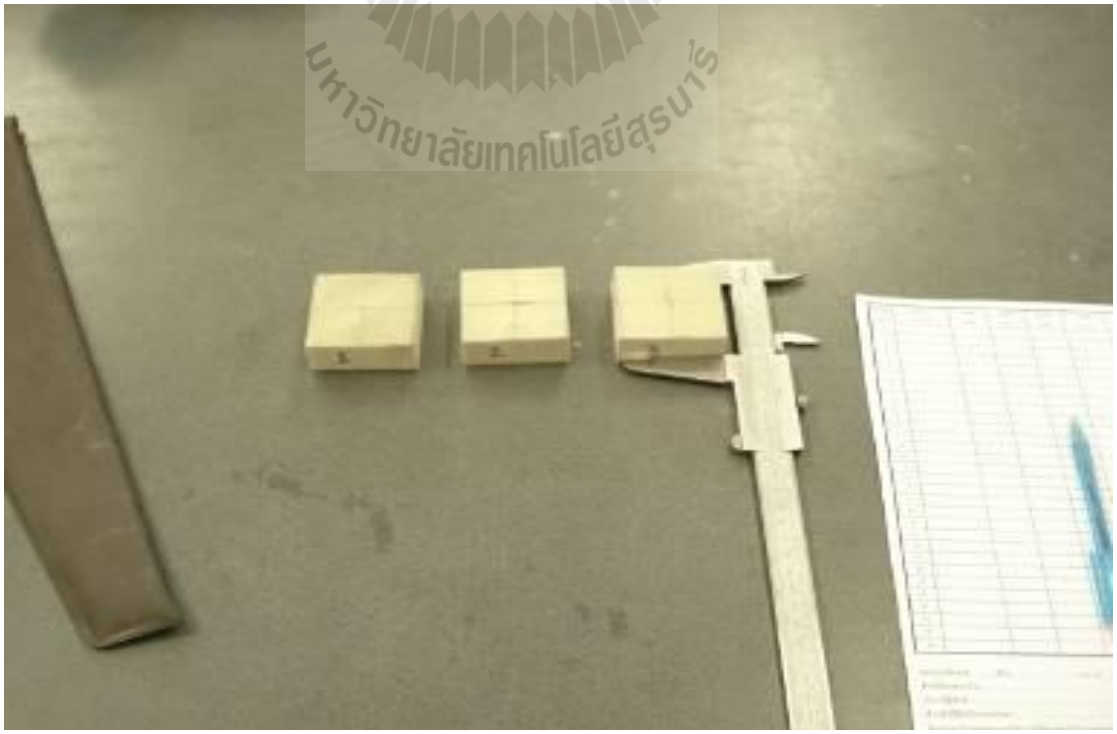
ภาพการเตรียมตัวอย่างวัสดุ

2. นำแท่งวัสดุทดสอบที่ได้มาตัดที่ความหนา 26 มิลลิเมตร



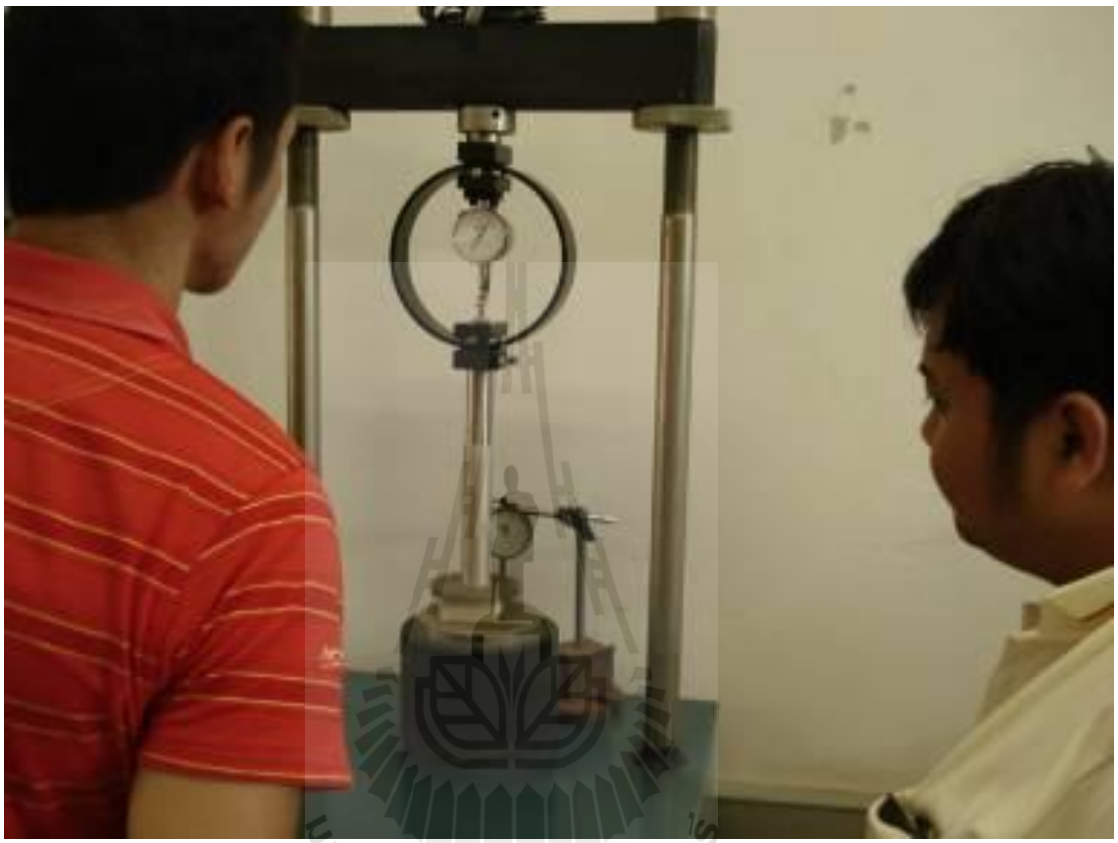
ภาพการเตรียมตัวอย่างวัสดุ

3. นำวัสดุทดสอบที่ได้จากข้อ2 มาตัดเป็นหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 55 x 55 มิลลิเมตร แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อนำมาคำนวณหาความหนาแน่น ทั้งนี้ตัวอย่างที่ถูกเลือกจะต้องมีความหนาแน่นเท่ากับความหนาแน่นของวัสดุ ตามข้อ 4.1 หรือ± 5%



ภาพการเตรียมตัวอย่างวัสดุ

4. นำวัสดุทดสอบทั้งสามชิ้นเข้าเครื่องกดตัวอย่าง ในการจดบันทึกผลการทดลองจะทำการจดค่าที่อ่านได้จากวงแหวนวัดแรง(N) จากทุกระยะการยุบตัว(mm.) ประมาณ 0.10 มิลลิเมตร



ภาพการทดสอบวัสดุ

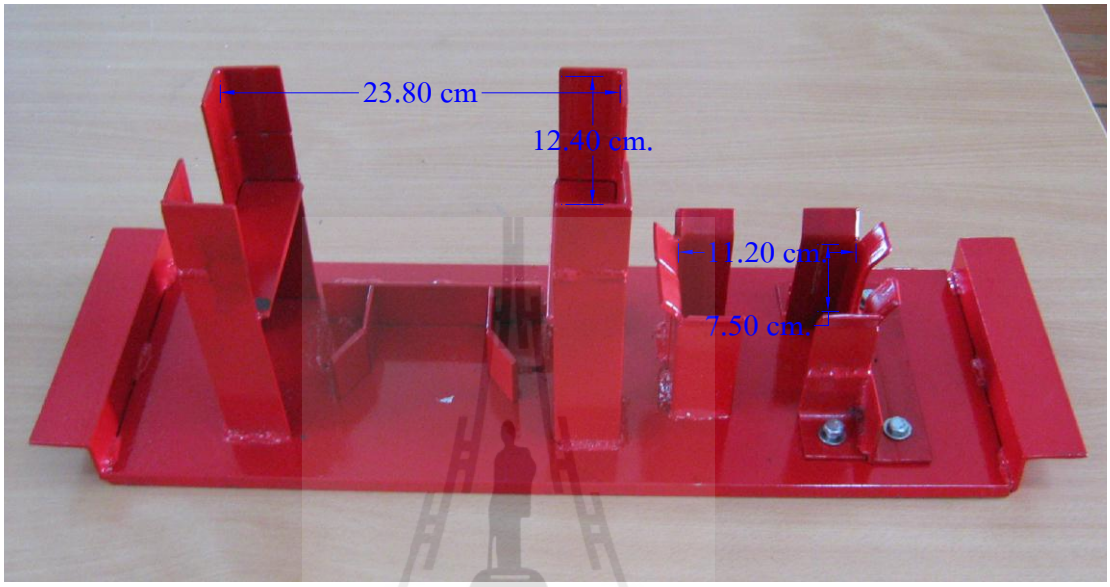
5. นำผลที่ได้จากการทดลอง มาแสดงในกราฟเพื่อหาค่า Maximum Acceptable Compressive Stre และ Modulus of Elasticity ที่จะพิจารณาในช่วง Linear Elastic

ภาคผนวก ข
วิธีการทดลองหาค่าความสามารถในการยกน้ำหนักกดทับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

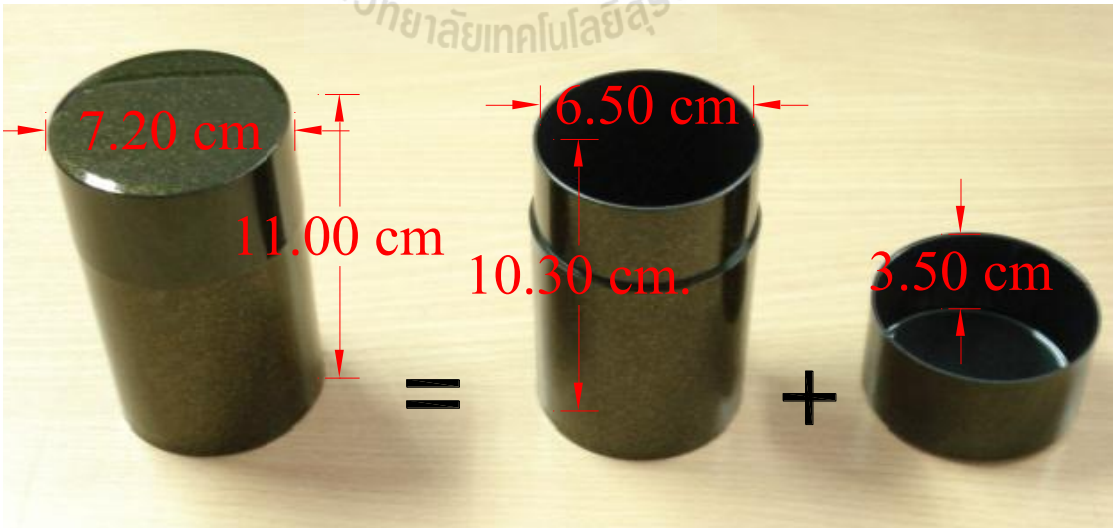
เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลอง



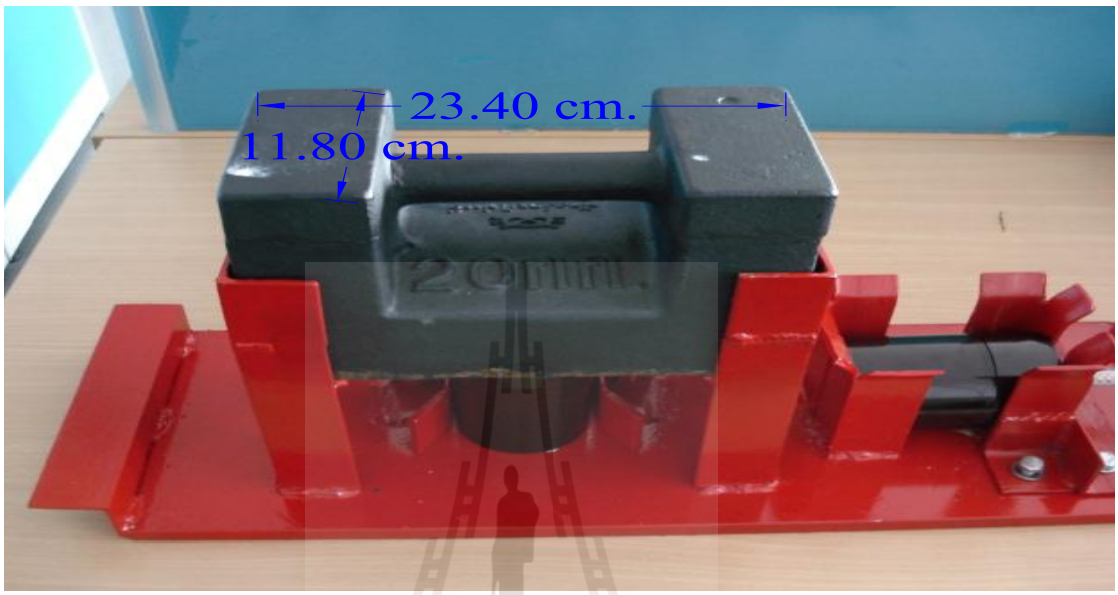
ภาพชุดทดลอง

2. กระบอกผสมวัสดุขนาดความจุ 342 มิลลิลิตร



ภาพกระบอกผสมวัสดุ

3. ลูกแก้วขนาด 15 มิลลิเมตร 2 ลูก
4. ตุ้มน้ำหนักหนัก 20 กิโลกรัม



ภาพตุ้มน้ำหนักที่ประกอบเข้ากับชุดทดลอง

5. วัสดุปริมาตร 30 มิลลิลิตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

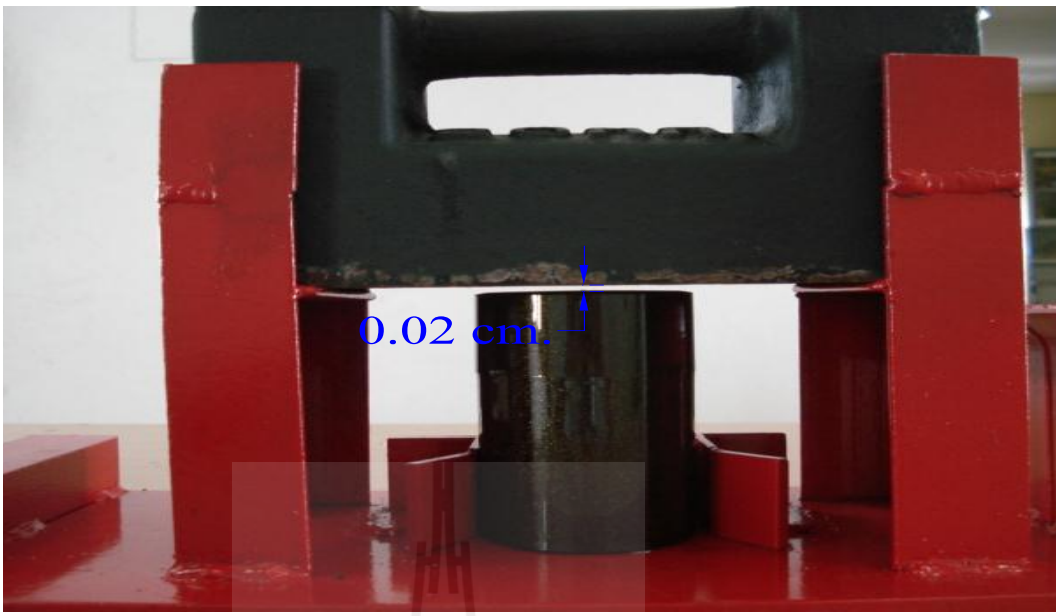
วิธีการทดลอง

1. ฉีดวัสดุปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในกระบอกผสมวัสดุที่ภายในบรรจุลูกแก้ว
2. เขย่ากระบอกผสมวัสดุขึ้นลงประมาณ 5 วินาที

ภาพการเขย่ากระบอกผสมวัสดุ

3. ใส่กระบอกผสมวัสดุเข้าไปในช่องของชุดทดลองที่ทำให้จุดศูนย์ถ่วงของกระบอกผสมวัสดุ และ ตุ้มน้ำหนัก ตรงกัน

ภาพการวางกระบอกผสมวัสดุเข้ากับชุดทดลอง



ภาพการวางกระบอกผสมวัสดุเข้ากับชุดทดลอง

4. ทิ้งกระบอกผสมวัสดุไวในชุดทดลองประมาณ 20 วินาที จนกว่ากระบอกผสมวัสดุหยุดขยับตัวหรือวัสดุหยุดการขยายตัว
5. วัดการยกตัวของตุ้มน้ำหนักจากกระบอกผสมวัสดุ

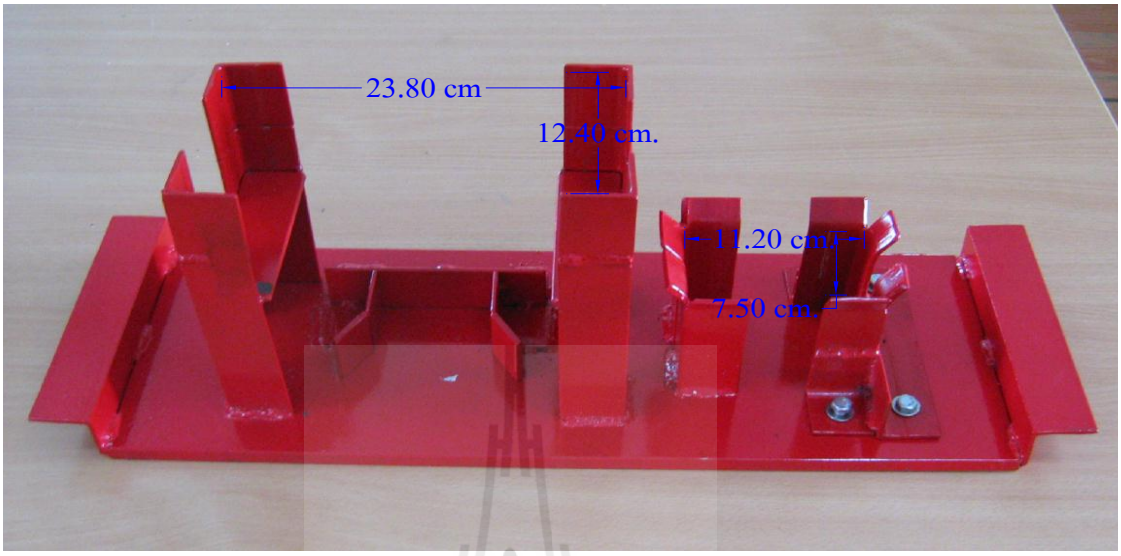
ภาพการวัดความสามารถในการยกน้ำหนักกดทับ

ภาคผนวก ค
วิธีการทดลองหาค่าความสามารถในการไหล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลอง



ภาพชุดทดลอง

2. กระบอกผสมวัสดุที่ประกอบไปด้วย
   2.1 กระบอกผสมวัสดุขนาดความจุ 342 มิลลิลิตร ที่ฝาปิดติดตั้งท่อทองแดงขนาด Ø วงนอก 5/16 นิ้ว หนา 1 มิลลิเมตร ยาว 4 เซนติเมตร
   2.2 ท่อ Tetron ขนาด Ø วงใน 5/16 นิ้ว
   2.3 ลูกแก้วขนาด 15 มิลลิเมตร 2 ลูก

ภาพกระบอกผสมวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิธีการทดลอง

1. ฉีดวัสดุปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในกระบอกผสมวัสดุที่ภายในบรรจุลูกแก้ว
2. เขย่ากระบอกผสมวัสดุขึ้นลงประมาณ 5 วินาที

ภาพการเขย่ากระบอกผสมวัสดุ

3. ใส่กระบอกผสมวัสดุเข้าไปในช่องของชุดทดลอง

ภาพการวางกระบอกผสมวัสดุเข้ากับชุดทดลอง

ภาพการวางกระบอกผสมวัสดุเข้ากับชุดทดลอง

4. ทิ้งกระบอกผสมวัสดุไวในชุดทดลองประมาณ 20 วินาที จนกว่าวัสดุที่ไหลในสาย Tetron หยุดไหล หรือวัสดุหยุดการขยายตัว
5. วัดความสามารถในการไหลจากระยะการไหลของวัสดุในท่อ Tetron

ภาพการวัดความสามารถในการไหล

ประวัติผู้เขียน

นายวิจักร ศรีสมภาร เกิดเมื่อวันพุธที่ 10 เมษายน 2511 จบการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาช่างสำรวจ จากโรงเรียนเทคโนโลยีนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2529 จบการศึกษาระดับประกาศณียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาช่างโยธา จากโรงเรียนช่างกลพาณิชยการภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2530 และจบการศึกษาระดับปริญญาตรีบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาการจัดการงานก่อสร้าง จากมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เมื่อปี พ.ศ. 2544 ทำงานเป็นลูกจ้างโครงการก่อสร้างเขื่อนลิงโจนชลประทาน หน่วยก่อสร้างที่ 24 อำเภอ เลิงนกทา จังหวัด ยโสธร ตำแหน่งช่างสำรวจ เมื่อปี พ.ศ. 2530 ถึง พ.ศ. 2533 จึงได้ลาออกเพื่อเข้าทำงานกับบริษัท ช. การช่าง จำกัด โครงการก่อสร้างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ตำแหน่งโฟร์แมน ควบคุมงานก่อสร้าง จนถึงปี พ.ศ. 2536 ต่อมาได้สอบเข้าบรรจุเป็นพนักงานองค์การของรัฐ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลขที่ 111 ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ตำแหน่งนายช่างเทคนิค หน่วยงานออกแบบและก่อสร้าง ส่วนอาคารสถานที่ สังกัดสำนักงานอธิการบดี จนถึงปัจจุบัน และขณะนี้ได้ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี