การก่อสร้างเชิงลาดสะพานบนดินอ่อนโดยใช้ EPS Foam บนทางหลวงพิเศษหมายเลข M81 สาย กรุงเทพ - กาญจนบุรี ตอน 12 ระหว่าง กม.38+500.00 - กม.44+266.833

โดย

ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์ [1]

กิจจา เจริญพักตร์ [2]

สมบัติ ระเริง [3]

พยูร เทียนทอง [4]

[1] วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

[2] วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

[3] นายช่างโยธาชำนาญงาน สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

[4] นายช่างโยธาอาวุโส สำนักก่อสร้างทางที่ 1 กรมทางหลวง

บทความนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนเกี่ยวข้องแต่อย่างใด

การก่อสร้างเชิงลาดสะพานบนดินอ่อนโดยใช้ EPS Foam
บนทางหลวงพิเศษหมายเลข M81
สาย กรุงเทพ - กาญจนบุรี ตอน 12 ระหว่าง กม.38+500.00 - กม.44+266.833

ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์

วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

กิจจา เจริญพักตร์

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

สมบัติ ระเริง

นายช่างโยธาชำนาญงาน สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

พยูร เทียนทอง

นายช่างโยธาอาวุโส สำนักก่อสร้างทางที่ 1 กรมทางหลวง

1. บทนำ

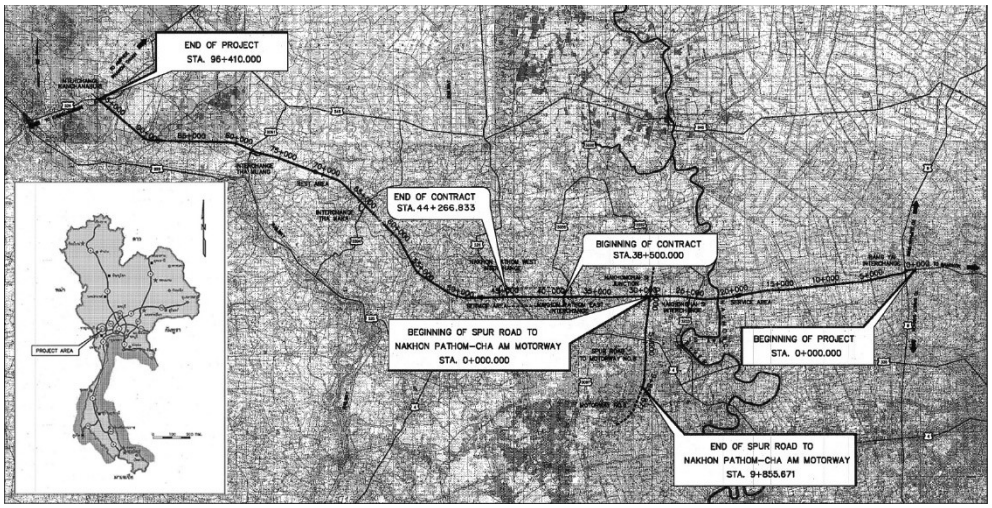
กรมทางหลวงได้ทำการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายบางใหญ่ – กาญจนบุรี เพื่อเพิ่มเส้นทางการคมนาคมและขนส่งจากกรุงเทพมหานครฯ และปริมณฑล ไปสู่ภาคตะวันตกของประเทศ และรองรับการจราจรที่เพิ่มขึ้นในอนาคต ตามแผนแม่บทการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง โดยจะทำให้การเดินทางไปยังภาคตะวันตกซึ่งแต่เดิมใช้เส้นทางหลักคือทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 4 หรือถนนเพชรเกษม และเดินทางต่อด้วยทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 323 ไปยังจังหวัดกาญจนบุรี มีความสะดวกมากขึ้น และช่วยพัฒนาการขนส่งในภาคอุตสาหกรรม ภาคการเกษตร ส่งเสริมอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว และชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชนในภูมิภาคให้ดีขึ้น แนวเส้นทางของโครงการฯ เริ่มจากอำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี ผ่านพื้นที่ อำเภอพุทธมณฑล อำเภอนครชัยศรี อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี และมาสิ้นสุดโครงการฯ ที่อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี รวมระยะทางประมาณ 96 กิโลเมตร

โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษหมายเลข M81 สายกรุงเทพ - กาญจนบุรี ตอน 12 ตามรูปแบบและสัญญาการก่อสร้างของโครงการฯ กำหนดให้ทำการก่อสร้างสะพานที่ กม.41+174.866 ด้านซ้ายทาง และที่ กม.41+171.248 ด้านขวาทาง ซึ่งตามรูปแบบมีความสูงช่องลอดสะพาน 2.60 เมตร โดยเมื่อทำการก่อสร้างกำแพง Abutment สะพาน จนใกล้แล้วเสร็จ และก่อสร้างงานทรายถมคันทางบริเวณเชิงลาดสะพานบนโครงสร้างเสาเข็มผ่อนความยาว (Bearing Unit) จนใกล้ถึงระดับสุดท้าย (Finished Grade) ทางเทศบาลเมืองนครปฐมได้ร้องขอให้เพิ่มความสูงช่องลอดเป็น 4.50 เมตร ซึ่งเมื่อ

เพิ่มความสูงช่องลอดแล้วจะทำให้เกิดงานทรายถมคันทางสูงขึ้น 5.50 เมตร ผู้ออกแบบได้ตรวจสอบกำลังรับแรงแบกทานของดินพบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย แต่การเพิ่มความสูงของคันทางทำให้เสถียรภาพของคันทางลดลงอันอาจทำให้โครงสร้างทางเกิดความเสียหาย และเป็นการเพิ่มแรงดันดินด้างข้างที่กระทำต่อโครงสร้าง Abutment สะพานเดิมตามแบบสัญญาซึ่งได้ทำการก่อสร้างไปแล้ว จึงมีแนวคิดในการแก้ไขปัญหาโดยการลดน้ำหนักของวัสดุที่ถมด้านหลังกำแพงเพื่อทำให้โครงสร้างคันทางยังคงมีเสถียรภาพที่เพียงพอและลดแรงดันดินด้านข้างที่กระทำกับกำแพง Abutment สะพาน โดยการใช้วัสดุมวลเบาประเภท EPS Foam ซึ่งเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับทรายถม

2. ปัญหาการก่อสร้างทางบนดินอ่อนและการแก้ไข

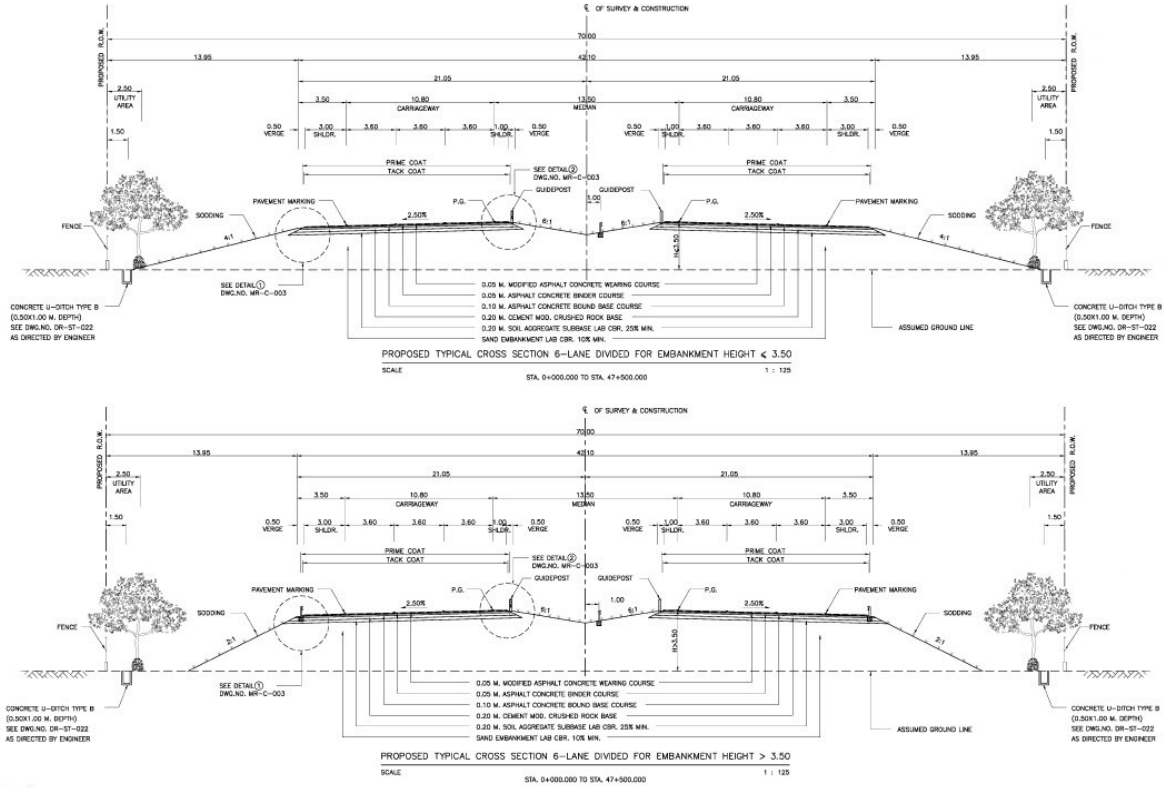
โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษหมายเลข M81 สายกรุงเทพ - กาญจนบุรี ตอน 12 มีจุดเริ่มต้นการก่อสร้างที่ กม.38+500.00 และสิ้นสุดการก่อสร้างที่ กม.44+266.833 ระยะทาง 5.767 กม. มาตรฐานทางชั้นพิเศษ จำนวน 6 ช่องจราจร ชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เนื่องจากที่ตั้งของโครงการฯ อยู่ในบริเวณพื้นที่ อ.เมือง จ.นครปฐม ซึ่งเป็นที่ตั้งของชั้นดินเหนียวอ่อนในบริเวณพื้นที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง (Soft Bangkok Clay) เนื่องจากดินบริเวณนี้มีค่ากำลังรับแรงเฉือนต่ำ และมีการทรุดตัวสูงในระยะยาว จึงมักเป็นปัญหาในการก่อสร้างทาง สะพาน หรืออาคาร ในพื้นที่บริเวณนี้



ภาพที่ 1 ที่ตั้งโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษหมาลข M81 สายกรุงเทพ - กาญจนบุรี ตอน 12

ตามสัญญาการก่อสร้างโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษหมายเลข M81 สายกรุงเทพ - กาญจนบุรี ตอน 12 กำหนดให้ทำการก่อสร้างสะพาน ที่ กม.41+174.866 ด้านซ้ายทางและที่ กม.41+171.248 ด้านขวาทาง เพื่อข้ามถนนสายบ้านท่าใหม่ - บ้านทุ่งนาสร้าง ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของเทศบาลเมืองนครปฐม โดยก่อสร้างเป็นสะพานที่มีรูปแบบ รายละเอียดดังนี้

- สะพานชนิด Prestressed Concrete Box Girder
- ความยาว (1x20.00) ความยาวรวม 20.00 เมตร ด้านซ้ายทางและด้านขวาทาง
- ช่องจราจรกว้างช่องละ 3.60 เมตร จำนวน 3 ช่องจราจร ไหล่ทางด้านในกว้าง 1.0 เมตร ไหล่ทางด้านนอกกว้าง 3.0 เมตรผิวจราจรกว้างรวม 14.80 เมตร
- ความสูงของลอดใต้สะพาน 2.60 เมตร



ภาพที่ 2 รูปตัดทั่วไปของโครงสร้างชั้นทาง โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษหมายเลข M81 สายกรุงเทพ - กาญจนบุรี ตอน 12

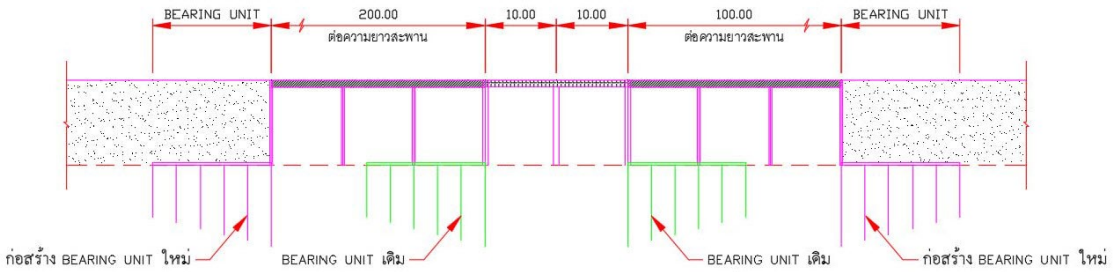
จากการประชุมการมีส่วนร่วมของประชาชนและหน่วยงานที่เกี่ยวของในพื้นที่ของโครงการฯ เพื่อให้ประชาชนได้รับทราบรูปแบบรายละเอียดการก่อสร้าง รับฟังความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากการก่อสร้าง ได้มีการเสนอให้ทางโครงการฯ ปรับแก้ไขรูปแบบของสะพานที่ กม.41+174.866 ด้านซ้ายทางและที่ กม.41+171.248 ด้านขวาทาง โดยการเพิ่มความสูงของช่องลอด จากเดิมที่ความสูง 2.60 เมตร เป็นความสูง 4.50 เมตร เนื่องจากรถบรรทุกที่มีความสูงมากกว่าความสูงช่องลอดเดิม ไม่สามารถใช้เส้นทางสัญจรได้ ประธานและกรรมการตรวจรับพัสดุโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษหมายเลข M81 สายกรุงเทพ - กาญจนบุรี ตอน 12 จึงมีมติให้ทำการแก้ไขแบบก่อสร้างสะพาน เพื่อให้ประชาชนผู้ใช้ทาง สามารถใช้งานได้โดยไม่ติดปัญหาใดๆ ผู้ออกแบบโดยบริษัทที่ปรึกษาและสำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง จึงได้เสนอแนวทางการแก้ไขรูปแบบสะพานดังกล่าว

และทางโครงการฯ ได้จัดการประชุมการมีส่วนร่วมของประชาชนและหน่วยงานที่เกี่ยวของในพื้นที่ของโครงการฯ เรื่อง การแก้ไขปัญหาความสูงช่องลอดสะพานดังนี้

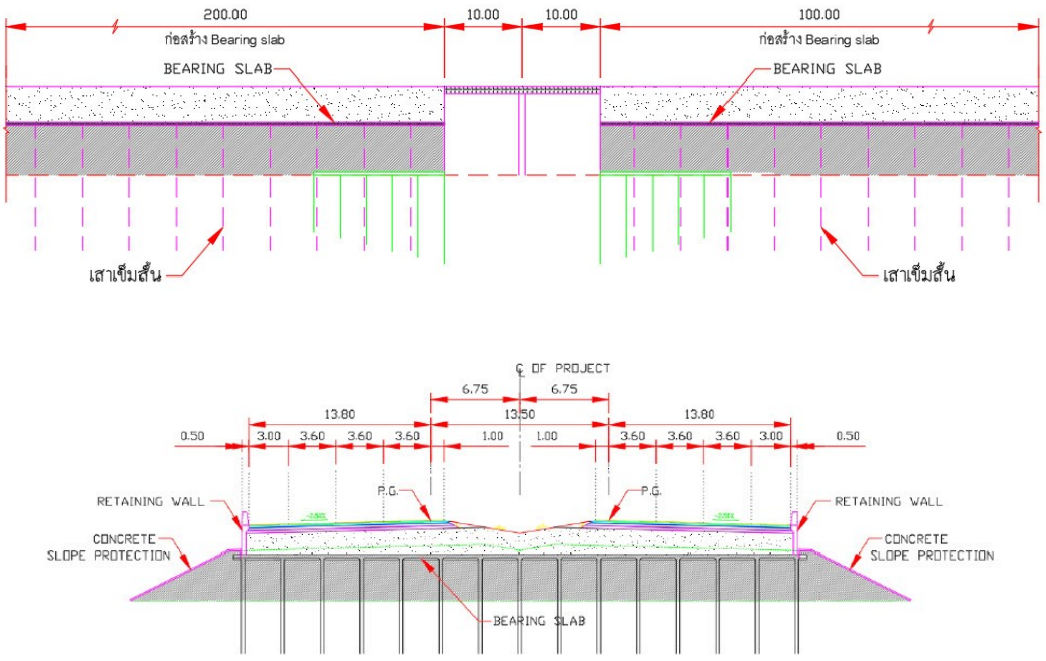
(1) การประชุมการมีส่วนร่วมของประชาชน เรื่อง การแก้ไขปัญหาความสูงช่องลอดสะพาน ครั้งที่ 1 กรมทางหลวงได้เสนอแนวทางการก่อสร้างอุโมงค์ โดยยังคงระดับ Profile Grade ถนนตามรูปแบบ และลดระดับถนนใต้ทางลอดให้ต่ำลงเพื่อให้ได้ความสูงของช่องลอดจาก 2.60 เมตร เป็น 4.50 เมตร ซึ่งมติในที่ประชุม ประชาชนที่เข้าร่วมประชุมไม่เห็นด้วยกับรูปแบบที่กรมทางหลวงเสนอ เนื่องจากอาจเกิดปัญหาการในระบายน้ำและการเกิดน้ำท่วมเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ทาง และทำให้การ เข้า-ออก ที่พักอาศัยมีความลำบาก โดยประชาชนที่เข้าร่วมประชุมบางส่วนต้องการให้สร้างสะพานยกระดับที่มีความสูง 5.0 เมตร หรือใช้เส้นทางอื่นในการเดินทาง ซึ่งกรมทางหลวงได้นำข้อเสนอแนะ ไปพิจารณาแนวทางแก้ไขต่อไป

(2) การประชุมการมีส่วนร่วมของประชาชน เรื่อง การแก้ไขปัญหาความสูงช่องลอดสะพาน ครั้งที่ 2 กรมทางหลวงได้เสนอแนวทางการยกระดับสะพานให้มีความสูงช่องลอด 4.50 เมตร ตามความประสงค์ของประชาชนในพื้นที่จากการประชุมในครั้งที่ 1 ซึ่งมติในที่ประชุมประชาชนที่เข้าร่วมประชุมยินยอมให้ก่อสร้างงานคันทางและงานสะพานความสูงช่องลอด 4.50 เมตร และก่อสร้างเสาตอม่อรองรับโครงสร้างสะพานบริเวณกลางถนนด้านใต้สะพาน รวมถึงการก่อสร้างกำแพงกันเสียงบริเวณที่พักอาศัยและสถานที่ราชการ และติดตั้งป้ายจราจรและอุปกรณ์อำนวยความปลอดภัยตามที่สำนักสำรวจและออกแบบกำหนด

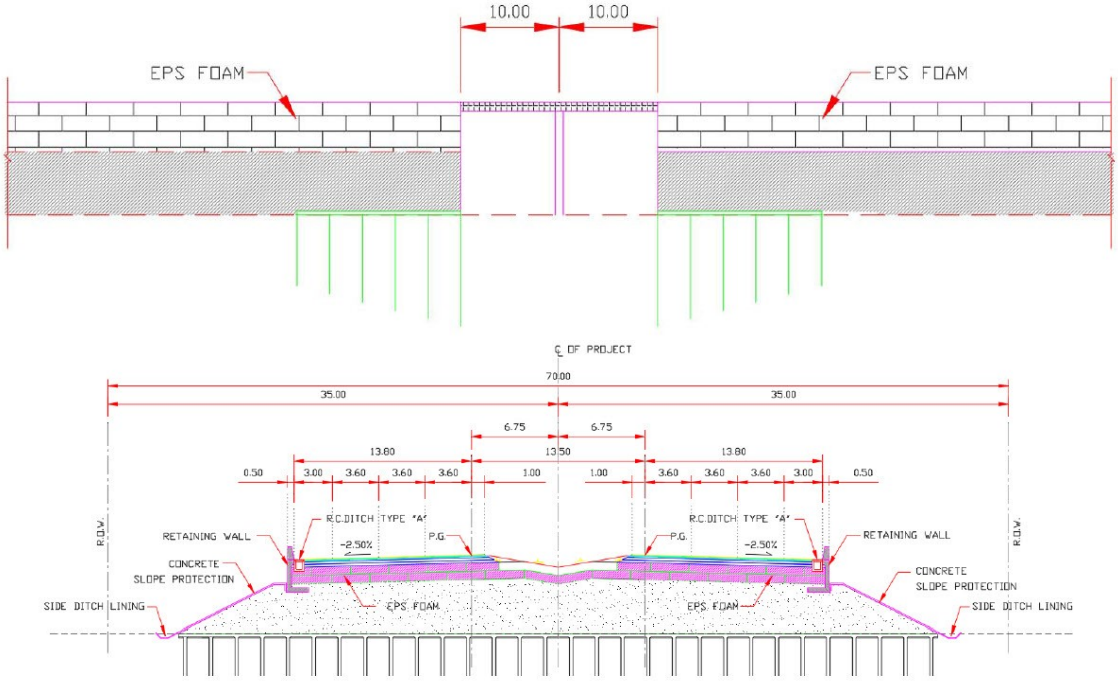
จากการแก้ไขความสูงของช่องลอดสะพานให้เพิ่มขึ้นจากเดิม 2.60 เมตร เป็น 4.50 เมตร มีผลทำให้ชั้นทรายถมคันทางที่เชิงลาดสะพานมีความหนามากขึ้น ส่งผลให้เสียรภาพของคันทางลดลง แรงดันดินด้านข้างที่กระทำต่อกำแพง Abutment ซึ่งได้ทำการก่อสร้างไปแล้ว เพิ่มสูงขึ้น และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการทรุดตัวบริเวณเชิงลาดคอสะพานในระยะยาว บริษัทที่ปรึกษาในการออกแบบและสำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง ได้พิจารณารูปแบบแนวทางเลือกการแก้ไขปัญหาดังกล่าว 3 แนวทาง แสดงรายละเอียดในภาพที่ 3 และตารางที่ 1



(รูปแบบที่ 1)



(รูปแบบที่ 2)



(รูปแบบที่ 3)

ภาพที่ 3 การแก้ไขรูปแบบงานถนนและงานสะพานความสูงช่องลอด 4.50 เมตร รูปแบบที่ 1-3

ตารางที่ 1 รายละเอียดการแก้ไขรูปแบบงานถนนและงานสะพานความสูงช่องลอด 4.50 เมตร

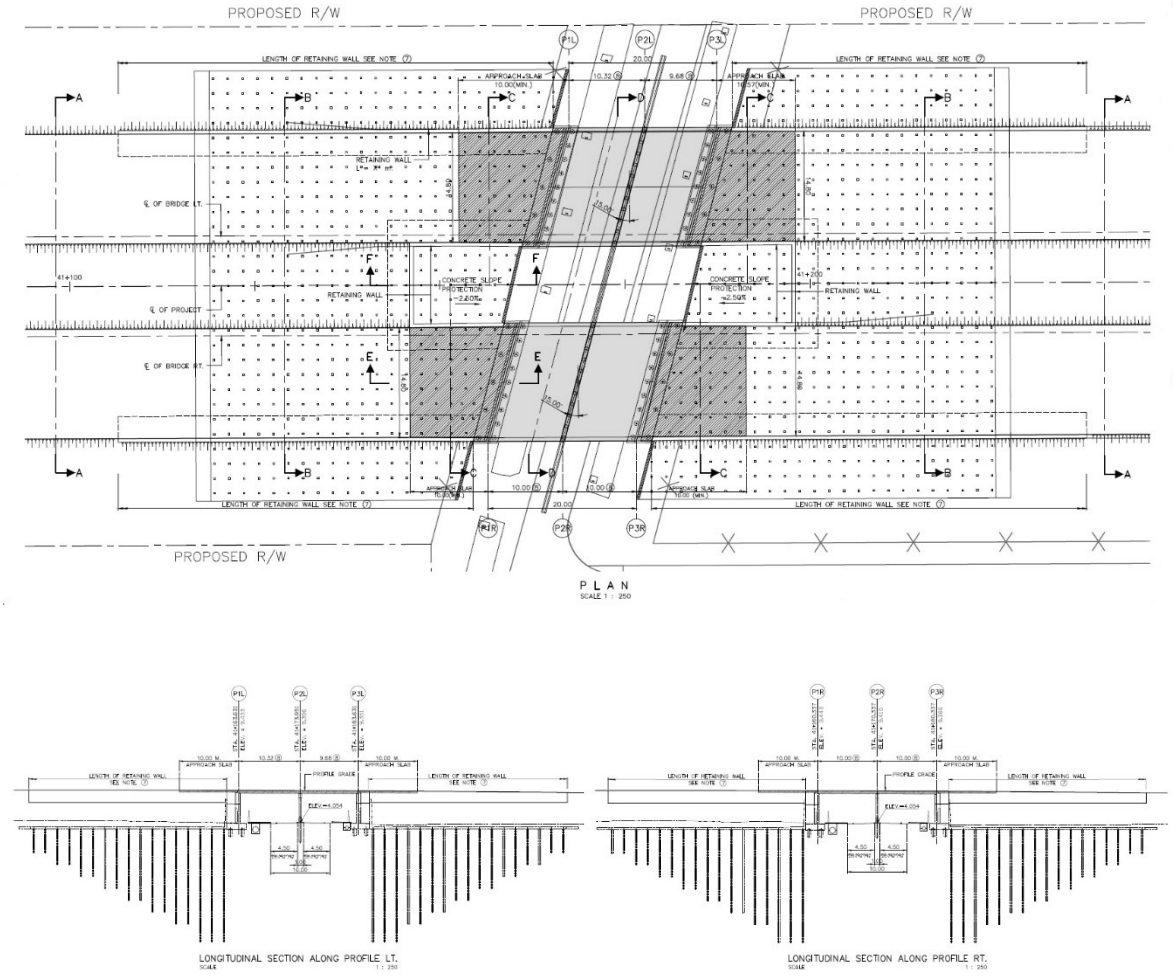
แนวทาง	รูปแบบการก่อสร้าง	ราคา
1	ก่อสร้างสะพานเพิ่มเติมความยาว 300 เมตร รวม 2 ด้านยาว 600 เมตร และก่อสร้าง Bearing Unit	- งานสะพาน 87 ล้านบาท - งาน Bearing Unit 15 ล้านบาท รวมค่าก่อสร้าง = 102 ล้านบาท
2	ก่อสร้าง Bearing Slab ความยาวด้านละ 300 เมตร รวม 2 ทิศทาง ยาว 600 เมตร	- งานทรายถมคันทาง 8 ล้านบาท - งาน Bearing Slab 55 ล้านบาท - งาน R.C. Slope Protection 2.5 ล้านบาท รวมค่าก่อสร้าง = 65.5 ล้านบาท
3	ใช้ EPS Foam แทนทรายถมคันทางเพื่อลดน้ำหนักของคันทางที่ถมสูงขึ้น	- งาน EPS Foam 40 ล้านบาท - งาน Retaining Wall 5 ล้านบาท - งาน R.C. Slope Protection 2 ล้านบาท รวมค่าก่อสร้าง = 47 ล้านบาท

จากแนวทางเลือกในการแก้ไขรูปแบบงานถนนและงานสะพานความสูงช่องลอด 4.50 เมตร ทั้ง 3 รูปแบบ โครงการฯ ได้พิจารณาเลือกดำเนินการตามแนวทางที่ 3 โดยการใช้วัสดุมวลเบา Expanded Polystyrene Foam (EPS) ทดแทนวัสดุทรายถมคันทางที่ถมสูงขึ้น เนื่องจาก EPS Foam สามารถลดน้ำหนักของคันทางที่กระทำต่อดินฐานรากให้น้อยลง ทำให้ลดการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนและโครงสร้างเชิงลาดสะพานในระยะยาว ลดแรงดันด้านข้างที่กระทำต่อคันทางและโครงสร้างสะพาน ทำให้คันทางและโครงสร้างสะพานยังคงมีเสถียรภาพที่แข็งแรง รวมถึงมีค่าการก่อสร้างที่ต่ำที่สุดและสามารถลดระยะเวลาการก่อสร้างได้เร็วขึ้น บริษัทที่ปรึกษาการออกแบบและสำนักสำรวจและออกแบบกรมทางหลวง ได้แก้ไขรูปแบบการก่อสร้างสะพานที่มีความสูงช่องลอด 4.50 เมตร และคันทางเชิงลาดสะพานดังแสดงในภาพที่ 4 ถึงภาพที่ 6 และมีรายละเอียดดังนี้

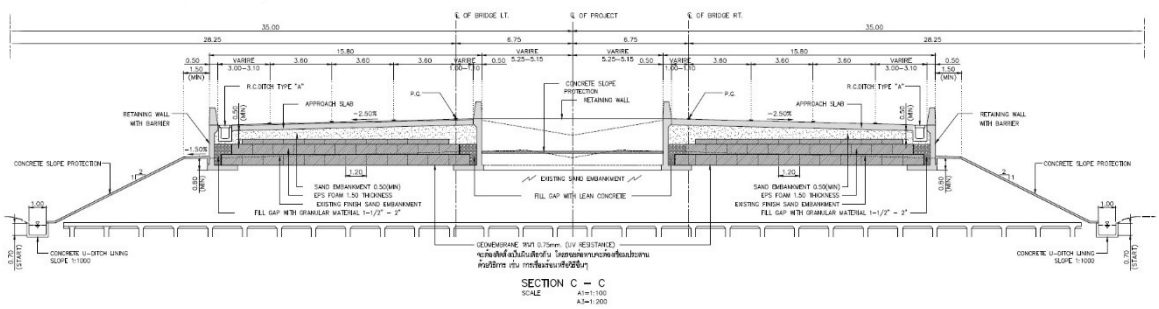
- สะพานชนิด Prestressed Concrete Plank Girder
- ขนาด (1x10.32)+(1x9.68) ด้านซ้ายทาง ความยาวรวม 20.00 เมตร
- ขนาด (1x10.00)+(1x10.00) ด้านขวาทาง ความยาวรวม 20.00 เมตร
- ช่องจราจรกว้างช่องละ 3.60 เมตร จำนวน 3 ช่องจราจร ผิวจราจรกว้างรวม 14.80 เมตร
- ความสูงของลอดใต้สะพาน 4.50 เมตร

EPS Foam เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรง สามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างทาง ทดแทนวัสดุ เช่นดินถมคันทางหรือทรายถมคันทาง เพื่อลดน้ำหนักคันทางและลดการทรุดตัวของโครงสร้างทาง ซึ่งเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในงานก่อสร้างบนดินเหนียวอ่อน และเนื่องจากวัสดุ EPS Foam

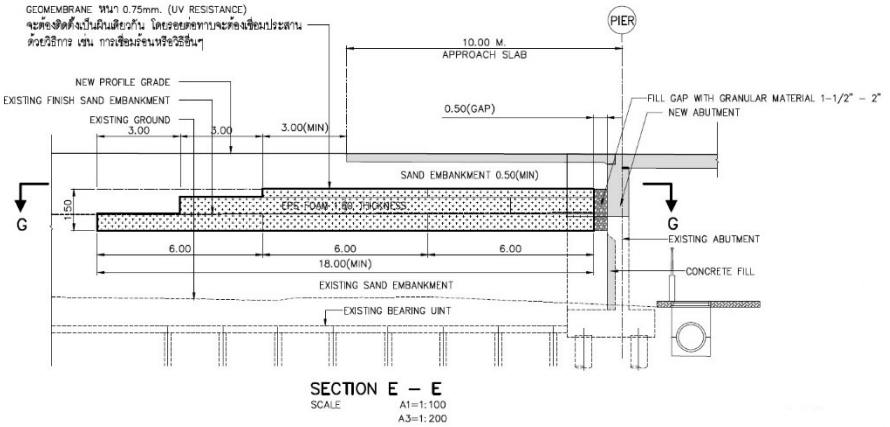
มีน้ำหนักเบาจึงทำให้การขนย้ายและการติดตั้งสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว ต่างจากการใช้วัสดุจากธรรมชาติ เช่นดินถมหรือทรายถมซึ่งต้องมีกระบวนการ ผสม คลุกเคล้า เกลี่ยแต่ง และบดทับในสนาม จึงมีการนำ EPS Foam มาใช้ในงานก่อสร้างถนน เชิงลาดสะพาน หรือใช้ในการแก้ปัญหางานทางวิศวกรรมปฐพี

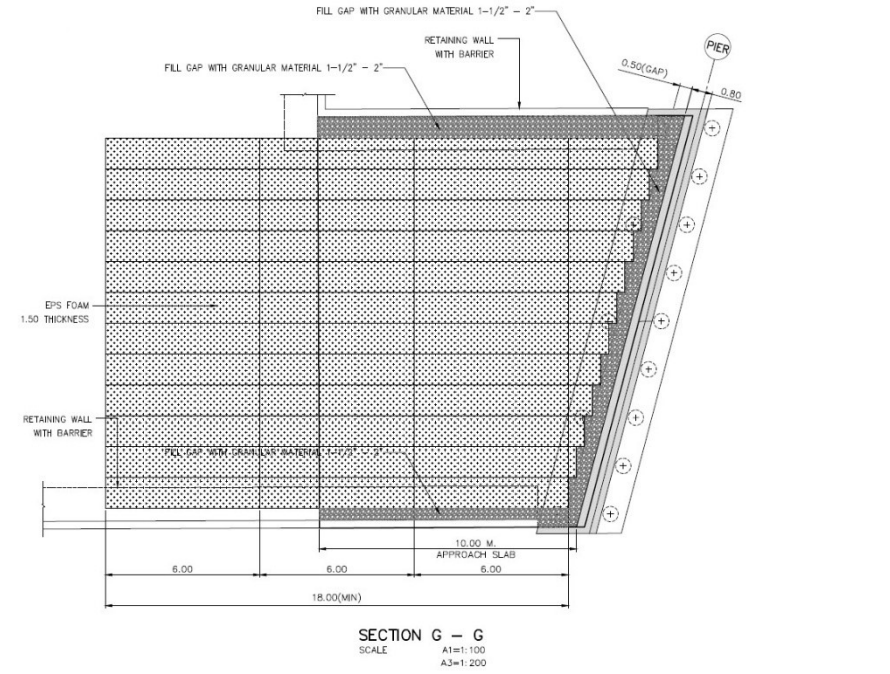


ภาพที่ 4 Plan และรูปตัดตามยาวงานสะพาน กม.41+173.631 LT, กม.41+170.377 RT



ภาพที่ 5 รูปตัดตามขวางสะพาน กม.41+173.631 LT, กม.41+170.377 RT





ภาพที่ 6 รูปตัดเชิงลาดสะพาน กม.41+173.631 LT, กม.41+170.377 RT

ปัญหาการทรุดตัวบริเวณเชิงลาดสะพาน ซึ่งเกิดจากการทรุดตัวที่แตกต่างกันระหว่างสะพานและโครงสร้างคันทางภายหลังการเปิดใช้งานในระยะยาว ส่งผลต่อความสะดวกสบายในการขับขี่ ทำให้เกิดความเสียหายกับยานพาหนะของผู้ใช้ถนนและอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ หากยานพาหนะเสียการควบคุมเมื่อขับผ่านจุดที่มีการทรุดตัวที่แตกต่างกัน รวมถึงเป็นภาระด้านงบประมาณค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง กรมทางหลวงมีการศึกษาและมีประสบการณ์ในการนำวัสดุมวลเบา EPS Foam มาใช้ในการแก้ปัญหาการทรุดตัวบริเวณเชิงลาดสะพานในสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบ เช่น

- โครงการวิจัย “การประยุกต์ใช้วัสดุมวลเบาประเภท EPS Geofoam ในการก่อสร้างทาง” [1] โดย สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง ร่วมกับ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ดำเนินการศึกษา วิเคราะห์ ถึงการนำวัสดุ EPS Foam ที่ผลิตในประเทศไทยมาใช้ในการก่อสร้างบนดินอ่อน ที่มีปัญหาเสถียรภาพระหว่างการก่อสร้างและปัญหาการทรุดตัวในระยะยาว โดยวิเคราะห์ในด้านประสิทธิภาพทางวิศวกรรมและด้านต้นทุนการก่อสร้าง โดยใช้กรณีศึกษาในโครงการก่อสร้างสะพานข้ามคลองบางตะไนย บนทางหลวงหมายเลข 345 และโครงการก่อสร้างสะพานข้ามคลองขุดบ้านบ่อ บนทางหลวงหมายเลข 35 โดยวิเคราะห์โครงสร้างปรับการทรุดตัวที่ใช้ในการก่อสร้างเชิงลาดสะพานใน 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 คันทางใช้วัสดุดินถมบนโครงสร้างปรับการทรุดตัวประเภทเสาเข็มผ่อนความยาว โดยไม่ได้พิจารณาชั้นดิน

กรณีที่ 2 คันทางใช้วัสดุดินถมบนโครงสร้างปรับการทรุดตัวประเภทเสาเข็มผ่อนความยาว โดยพิจารณาชั้นดิน

กรณีที่ 3 คันทางใช้วัสดุ EPS Geofoam บนโครงสร้างปรับการทรุดตัวประเภทเสาเข็มผ่อนความยาว

ผลการดำเนินการโครงการวิจัยพบว่าวัสดุ EPS Geofoam ที่ผลิตในประเทศไทยมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมใกล้เคียงกับมาตรฐานต่างประเทศ และแนะนำข้อกำหนดคุณสมบัติ EPS Geofoam สำหรับนำมาใช้ในงานก่อสร้างทาง ประกอบด้วย 3 คุณสมบัติ คือ หน่วยน้ำหนักต่ำสุดที่ยอมให้, กำลังรับแรงกดต่ำสุดที่ยอมให้ (ณ ความเครียด 1%, 5%, และ 10%) และกำลังรับแรงดัดต่ำสุดที่ยอมให้ และจากกรณีศึกษาด้านประสิทธิภาพทางวิศวกรรมและด้านต้นทุนการก่อสร้างในโครงการก่อสร้างสะพานทั้ง 2 แห่งพบว่าการใช้โครงสร้างปรับการทรุดตัวโดยใช้เสาเข็มผ่อนความยาวนั้นมีราคาต้นทุนน้อยกว่าการประยุกต์ใช้ EPS Geofoam ร่วมกับเสาเข็มผ่อนความยาว โดยเทียบราคาต้นทุนการก่อสร้างกรณีใช้ EPS Geofoam สูงกว่ากรณีใช้วัสดุดินถม ประมาณ 1.3 – 1.7 เท่า และถ้าไม่มีการพิจารณาลักษณะชั้นดินในการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างปรับการทรุดตัวบริเวณเชิงลาดสะพานแล้วนั้น ราคาการซ่อม

บำรุงรักษาจะสูงมาก (สูงกว่าราคาก่อสร้างถึง 1.9 ถึง 2.5 เท่า) และถึงแม้ว่าราคาต้นทุนวัสดุ EPS Geofoam จะสูงกว่าการใช้วัสดุธรรมชาติ เช่น ดิน หิน และทราย แต่สามารถลดระยะเวลาก่อสร้าง ($t_{compacted\ embankment}/t_{EPS}$) ได้เร็วกว่าประมาณ 1.3 เท่า เนื่องจากลดเวลาการก่อสร้างเสาเข็มผ่อนความยาว และการบดอัดดินถมคันทาง และมีกระบวนการก่อสร้างไม่ซับซ้อน ส่งผลกระทบต่อชุมชนและผู้ใช้ทางน้อยกว่า ดังนั้น จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ความคุ้มค่าการลงทุนในงานก่อสร้างด้วย และอาจเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในบางโครงการเท่านั้น เช่น งานถนนบนดินอ่อนซึ่งดินฐานรากรับแรงได้น้อยและมีการยุบตัวสูง งานซ่อมบำรุง และงานก่อสร้างซึ่งต้องการความรวดเร็วในการดำเนินงาน เป็นต้น

- “โครงการบูรณะปรับปรุงคอสะพานอย่างมีประสิทธิภาพ ถนนเชื่อมต่อทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 บริเวณ กม.39 (บางวัว) และถนนบางนา-ตราด”[2] โดยกองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง กรมทางหลวง ได้ศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาการทรุดตัวคอสะพาน ในพื้นที่บริเวณทางเชื่อม (Spur road) ระหว่างทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 และถนนบางนา -ตราด (ทล.34) บริเวณกิโลเมตรที่ 1+500 โดยเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาการทรุดตัวบริเวณคอสะพานโดยการใช้วัสดุมวลเบา 2 ชนิด คือ Expanded Polystyrene Foam (EPS) และ Low Density Cellular Concrete (LDCC) นำมาแทนที่วัสดุถมภายในโครงสร้างคอสะพาน และนำค่าการทรุดตัวมาเปรียบเทียบกับการทรุดตัวของการเสริมผิวแอสฟัลท์ที่คอสะพานแบบ ปกติ (Asphalt Overlay) ผลการดำเนินการพบว่าการใช้วัสดุมวลเบาในแก้ไขปัญหาการทรุดตัวคอสะพานเป็นวิธีที่ให้ผลดีที่สุดในแง่ทางกลศาสตร์ การแทนที่ทรายถมบริเวณคอสะพานด้วยวัสดุมวลเบาเป็นการลดน้ำหนักที่กระทำต่อฐานรากเสาเข็ม Bearing Unit ทำให้ดินชั้นฐานรากเกิดการบวมตัว (Heaving) ขึ้นเล็กน้อย แสดงว่าดินชั้นฐานรากกลับเข้าสู่สภาวะอิลาสติก และจากบูรณะคอสะพานโดยการใช้มวลเบา จะทำให้การทรุดตัวที่จะเกิดขึ้นในอนาคตหลังการเปิดการใช้งานมีอัตราลดลงอย่างมาก ความหนาของวัสดุมวลเบาจะมากที่สุดในช่วงที่ติดกับโครงสร้าง Abutment ของสะพาน และจะทยอยลดลงเมื่อมีระยะห่างจากโครงสร้าง Abutment มากขึ้น เพื่อปรับการทรุดตัวให้เท่ากับคันทาง

3. ข้อกำหนดพิเศษของ EPS ที่ใช้ในงานก่อสร้าง

วัสดุ Expanded Polystyrene (EPS) Foam เป็นโฟมหรือพลาสติกชนิดหนึ่ง ประเภท Thermal Plastic ที่ถูกหลอมละลายเป็นของเหลวได้เมื่อถูกความร้อน ผลิตจากการผสม Polystyrene (PS) ร้อยละ 90 ถึง 95 กับสารที่ทำให้ขยายตัว ได้แก่ ก๊าซ Pentane (C_5H_{12}) ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกับก๊าซหุงต้ม หรือ Butane (C_4H_{10}) จะทำปฏิกิริยากักเก็บก๊าซ Pentane เอาไว้ภายใน เมื่อวัสดุได้รับความร้อนจากไอน้ำ Polystyrene (PS) จะกลายเป็นเม็ดโฟมจากนั้นจึงนำไปขึ้นรูป

วัสดุ EPS Foam และ แผ่นปูพลาสติก Geomembrane สำหรับห่อหุ้ม ต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมเป็นไปตามข้อกำหนดของแบบก่อสร้าง

3.1 วัสดุมวลเบา EPS Foam

วัสดุมวลเบา Expanded Polystyrenes (EPS) เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบามีจุดประสงค์เพื่อลดน้ำหนักของโครงสร้างคันทาง ใช้ในการแก้ปัญหาเสถียรภาพเชิงลาดของคันทางและลดแรงดันด้านข้างที่กระทำต่อโครงสร้างกำแพงกันดิน วัสดุที่นำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมอ้างอิงข้อกำหนดจากมาตรฐาน ASTM D6817 มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของ EPS Foam [3]

ลำดับ	รายการ	มาตรฐาน	หน่วย	เกณฑ์
1	การวัดขนาดและความหนาแน่น (Density)	ASTM D1622	kN/m3	> 0.24 (1.5lb/ft3)
2	การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) @ 1% strain	ASTM D1621	kPa	>=60
3	การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) @ 5% strain	ASTM D1621	kPa	>=135
4	การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) @ 10% strain	ASTM D1621	kPa	>=155
5	การรับแรงดัด (FLEXURAL STRENGTH)	ASTM C203	kPa	>=265
6	ความไวไฟ (FLAMMABILITY OR OXYGEN INDEX)	ASTM D2863	%	>=24%

หมายเหตุ

- ผู้รับจ้างต้องเสนอรายงานผลทดสอบคุณสมบัติวัสดุแก่วิศวกรผู้ควบคุมงานเพื่อพิจารณาอนุมัติก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้าง
- เมื่อวัสดุขนส่งถึงพื้นที่ก่อสร้างของโครงการฯ ผู้รับจ้างต้องเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติอ้างอิงข้อกำหนด ASTM D7557 กำหนดความถี่ในการเก็บตัวอย่าง 1 บล็อก ต่อปริมาตร EPS Foam 500 ลูกบาศก์เมตร สำหรับวัสดุชุดแรก และเก็บตัวอย่าง 1 บล็อก ต่อปริมาตร EPS Foam 2,000 ลูกบาศก์เมตร สำหรับวัสดุชุดถัดไปในระหว่างการก่อสร้าง
- ก่อนนำวัสดุบล็อก EPS ไปติดตั้งต้องทิ้งไว้อย่างน้อย 7 วัน เพื่อให้สารตัวกลางที่ใช้ขึ้นรูประเหยออกจนหมด
- ก่อนการติดตั้งต้องปรับพื้นที่ให้เรียบ ปราศจากเศษก้อนหิน วัชพืช วัสดุก่อสร้าง และส่วนที่เป็นโคลนเหลว
- สำหรับวัสดุรองใต้บล็อก EPS ต้องเป็นชั้นวัสดุทรายถมคันทาง (ทล.-ม.103/2532) บดอัดความหนาอย่างน้อย 0.30 ม. บดอัดที่ความแน่นแห้งไม่น้อยกว่าค่าที่ร้อยละ 95 จากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (ทล.-ท.108/2515 หรือ AASHTO T180)
- เพื่อความแข็งแรงของการติดตั้งบล็อก EPS ทุกๆ บล็อกต้องยึดติดกันให้แข็งแรงด้วยอุปกรณ์ยึดที่เหมาะสม และการจัดเรียงแนวรอยต่อทางด้านยาวของบล็อก EPS แต่ละชั้นต้องวางเป็น

แนวตั้งฉากกับแนวขวางของอีกชั้นที่วางก่อนหน้าที่ติดกัน หรือตามคำแนะนำจากทางบริษัทผู้ผลิต

- ในระหว่างดำเนินการก่อสร้างไม่อนุญาตให้สัญจรบนพื้นผิวบล็อก EPS Foam โดยตรง ซึ่งต้องรองด้วยวัสดุบดอัดความหนาไม่น้อยกว่า 0.15 ม. โดยค่าความเค้นในแนวดิ่งที่กระทำต่อบล็อก EPS Foam ต้องมีค่าไม่เกินกว่าความเค้นอัดที่ความเครียด 1 % โดยแนะนำใช้รถบดขนาดเล็กในการบดอัดวัสดุจนกว่าจะได้ความหนาไม่น้อยกว่า 0.50 ม.
- การลำเลียงวัสดุถมคันทางเพื่อนำไปก่อสร้างบนบล็อก EPS Foam แนะนำให้ใช้รางลำเลียงวัสดุ หรือกระเช้าจากภายนอก เพื่อป้องกันความเสียหายของบล็อก EPS Foam จากการเหยียบย่ำโดยตรง

3.2 แผ่นปูพลาสติก (Geomembrane)

วัสดุ EPS Foam ที่นำมาใช้ก่อสร้างแทนวัสดุทรายถมในโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษหมายเลข M81 สายกรุงเทพ - กาญจนบุรี ตอน 12 แม้จะมีความทนทานและสามารถรับน้ำหนกได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ไม่ทนไฟ และไม่สามารถทนต่อสารทำละลายและสารเคมี เช่นน้ำมัน ได้ จึงต้องใช้แผ่นปูพลาสติก (Geomembrane) ห่อหุ้มอีกชั้นหนึ่ง

แผ่นปูพลาสติก Geomembrane กำหนดให้ผลิตจากพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง High Density Polyethylene (HDPE) นำมาใช้ห่อปกคลุมวัสดุบล็อก EPS Geofoam มีจุดประสงค์เพื่อป้องกันความเสียหายจากการถูกทำละลายจากสารเคมีและน้ำมัน ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปต้องมีสีสม่ำเสมอ ไม่มีคราบเหนียว หรือรอยฉีกขาด คุณสมบัติวัสดุที่นำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมตามข้อกำหนดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของแผ่นปูพลาสติก Geomembrane [3]

ลำดับ	รายการ	มาตรฐาน	หน่วย	เกณฑ์
1	ความหนาเฉลี่ย (AVERAGE THICKNESS)	ASTM D5199	mm	0.75
2	ความหนาแน่น (DENSITY)	ASTM D1505	g/cm3	< 0.940
3	ปริมาณคาร์บอน (CARBON BLACK CONTENT)	ASTM D4218	%	2.0 - 3.0
4	การกระจายตัวของคาร์บอนในเนื้อวัสดุ (DEGREE OF DISPERSION)	ASTM D5596	CATEGORY	CAT.1/CAT.2
5	ระยะเวลาในการต้านทานปฏิกิริยาเคมีสาเหตุจากออกซิเจนเนื่องจากสารผสมเพิ่ม (OXIDATIVE INDUCTION TIME, OIT)	ASTM D3895	นาที	> 100
6	กำลังแรงดึงที่จุดคราก (TENSILE STRENGTH AT YIELD)	ASTM D6693	kN/m	> 11
7	กำลังแรงดึงสูงสุด (TENSILE STRENGTH AT BREAK)	ASTM D6693	kN/m	> 21
8	การยืดตัวที่จุดคราก (ELONGATION AT YIELD)	ASTM D6693	%	> 13
9	การยืดตัวสูงสุด (ELONGATION AT BREAK)	ASTM D6693	%	> 700
10	กำลังต้านทานต่อการเจาะทะลุ (PUNCTURE RESISTANCE)	ASTM D4833	N	> 265
11	กำลังต้านทานต่อการฉีกขาด (TEAR RESISTANCE)	ASTM D1004	N	> 93

หมายเหตุ

- เมื่อวัสดุขนส่งถึงพื้นที่ก่อสร้างของโครงการฯ ผู้รับจ้างต้องเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติ และเสนอรายงานผลทดสอบคุณสมบัติวัสดุแก่วิศวกรผู้ควบคุมงานเพื่อพิจารณาอนุมัติก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้าง โดยกำหนดปริมาณทดสอบคุณสมบัติจำนวน 3 ตัวอย่าง ต่อพื้นที่ 10,000 ตารางเมตร
- ในระหว่างการก่อสร้างต้องทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อมคือ การทดสอบกำลังต้านทานต่อการดึงลอก (Peel Strength Test) ตามมาตรฐาน ASTM D6392 และการทดสอบแรงดึงหรือแรงเฉือน (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D6392 กำหนดปริมาณทดสอบทุกระยะแนวเชื่อม 150 เมตร ต่อ 1 จุดทดสอบ
- ในระหว่างการก่อสร้างหากพบรอยฉีกขาดหรือจุดที่ชำรุด ผู้รับจ้างต้องซ่อมแซมให้เรียบร้อยไม่เกิดรอยรั่ว

4. การก่อสร้าง

4.1 การเตรียมพื้นที่ก่อสร้าง

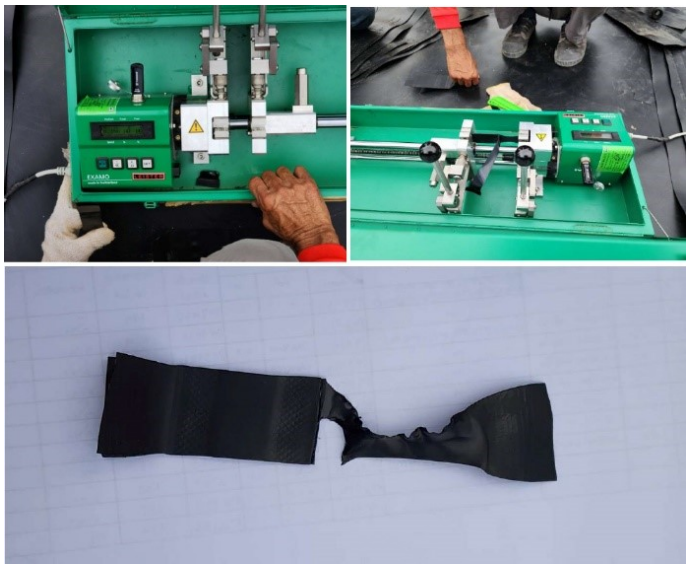
ก่อนการก่อสร้างชั้น EPS Foam ต้องมีการเตรียมพื้นที่การก่อสร้าง โดยการปรับพื้นที่ให้เรียบร้อย ปราศจากสิ่งไม่พึงประสงค์ต่างๆ เช่น ก้อนหิน วัชพืช เศษวัสดุก่อสร้าง ดินเลน หรือหากมีจุดอ่อนตัว ให้ทำการแก้ไขปรับปรุงก่อน จากนั้นจึงทำการก่อสร้างชั้นวัสดุรองใต้ EPS Foam โดยใช้ทรายถมที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่ ทล.-ม.103/2532 “มาตรฐานทรายถมคันทาง” เกลี่ยแต่งและบดทับให้ได้แนวและระดับตามรูปแบบที่กำหนด โดยให้มีความหนาหลังการบดทับไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร และมีความแน่นแห้งไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตาม ทล.-ท.108/2515 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” เมื่อได้ทำการตรวจสอบ แนว ระดับ และความแน่นของการบดทับเป็นไปตามข้อกำหนด จึงทำการก่อสร้างชั้น EPS Foam ในขั้นตอนต่อไป

4.2 การติดตั้งและทดสอบ Geomembrane

4.2.1 เตรียมการติดตั้งแผ่นพลาสติก Geomembrane ก่อนทำการติดตั้งจริงในสนาม โดยนำตัวอย่างมาทดลองเชื่อมเพื่อปรับอุณหภูมิ และแรงกดของเครื่องเชื่อม (อุณหภูมิ เป็นองศาเซลเซียส หน่วยแรงกด เป็นนิวตัน) ตามภาพที่ 7 โดยอุณหภูมิ และแรงกดที่ใช้จะมีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศในสนาม ทดสอบรอยเชื่อมโดยการตัดตัวอย่างรอยเชื่อมขนาดประมาณ 2 นิ้ว แล้วนำมาดึงด้วยเครื่องทดสอบการรับแรงดึงของรอยเชื่อม ตามภาพที่ 8 โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าหากรอยเชื่อมสมบูรณ์ การขาดของแผ่น HDPE จะไม่ขาดตรงรอยเชื่อม

4.2.2 การติดตั้งแผ่นพลาสติก Geomembrane ในสนาม แสดงในภาพที่ 9 โดยจัดวางตำแหน่งแผ่น Geomembrane บนพื้นที่ติดตั้งโดยนำแผ่นประกบซ้อน 3 แผ่น แต่ละแผ่นกว้าง 7.00 ม. และกำหนดตะเข็บระหว่างแผ่น เพื่อทำการเชื่อมประสานโดยวิธีเชื่อมแผ่น HDPE ด้วยความร้อน โดยใช้อุณหภูมิที่หัวเชื่อม 400 องศาเซลเซียส แรงกดที่ 790 นิวตัน และหลังจากทำการเชื่อมแผ่น Geomembrane แล้วเสร็จ ทำการตรวจสอบรอยเชื่อมในเบื้องต้นด้วยสายตา โดยพิจารณาความสม่ำเสมอและความต่อเนื่องของตะเข็บรอยต่อ และในการปู แผ่นพลาสติก Geomembrane จะเผื่อความยาวของแผ่นพลาสติกด้านข้างสำหรับการห่อหุ้ม ปิดทับ EPS Foam ด้านข้าง 4 ด้าน ออกไปด้านละประมาณ 2.0 เมตร ให้สูงกว่าความสูงของชั้น EPS Foam ซึ่งอยู่ที่ 1.50 เมตร

ภาพที่ 7 อุณหภูมิ (เซลเซียส) และแรงกด (นิวตัน) ของเครื่องเชื่อมแผ่น Geomembrane ด้วยความร้อน

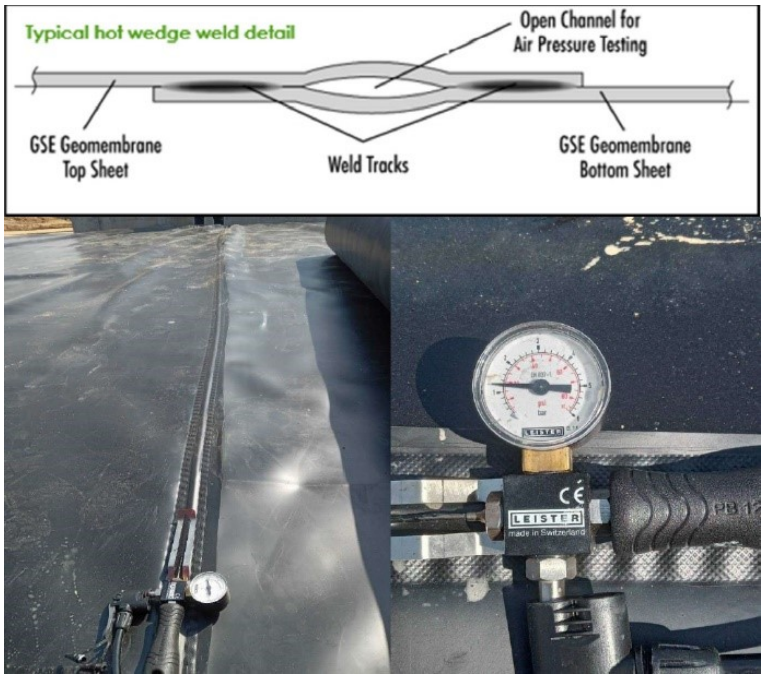


ภาพที่ 8 การทดสอบกำลังรับแรงดึงและการวิบัติของรอยเชื่อมแผ่น Geomembrane

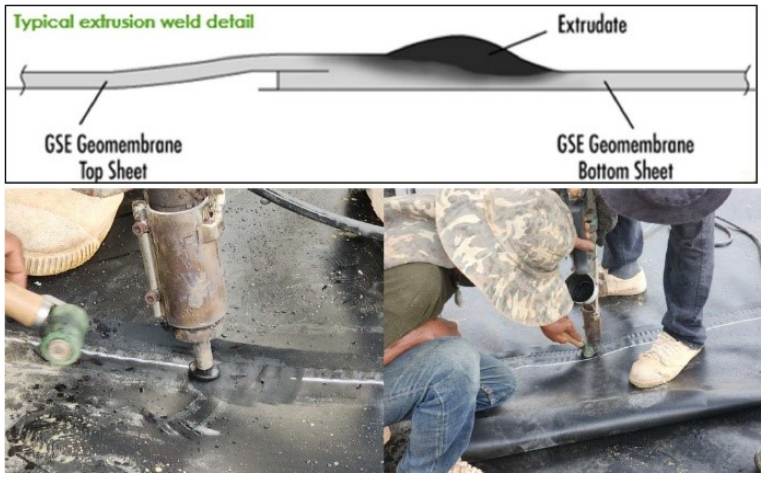
หลังจากตรวจสอบรอยเชื่อมในเบื้องต้นด้วยสายตาแล้ว ต้องมีการทดสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีการอัดอากาศ (Air Pressure Test) แสดงในภาพที่ 11 แลพภาพที่ 12 โดยการเชื่อมปิดผนึกตะเข็บทั้งสองข้างด้วยการให้ความร้อนแล้วบีบเข้าด้วยกัน ใส่เข็มที่มีเกจวัดความดันเข้าไปในช่องอากาศระหว่างตะเข็บ (Open Channel for Air Pressure Testing) จากนั้นเพิ่มแรงดันช่องอากาศให้อยู่ที่ประมาณ 30 ถึง 35 psi (200 ถึง 250 kPa) หากความดันหลังจากผ่านไป 5 นาทีคงที่ โดยลดลงน้อยกว่า 2 ถึง 4 psi (14 ถึง 28 kPa) แสดงว่าการทดสอบสำเร็จ ไม่พบรอยรั่วซึม จากนั้นตัดปลายตะเข็บด้านตรงข้ามและปล่อยแรงลมเพื่อตรวจสอบว่าตะเข็บทั้งหมดได้รับการทดสอบแล้ว ช่องที่จะลดแรงดันแสดงว่าไม่มีการอุดตันของช่องและเชื่อมปิดช่องอากาศระหว่างตะเข็บ (Open Channel for Air Pressure Testing) ด้วยวิธีการเชื่อมแบบอัดขึ้นรูป (Extrusion Welding)

ภาพที่ 9 การจัดวางและการเชื่อมแผ่น Geomembrane

ภาพที่ 10 รอยเชื่อมแผ่น Geomembrane ที่ต่อเนื่องและมีความสม่ำเสมอ



ภาพที่ 11 การทดสอบรอยเชื่อมแผ่น Geomembrane ด้วยวิธีการอัดอากาศ (Air Pressure Test)

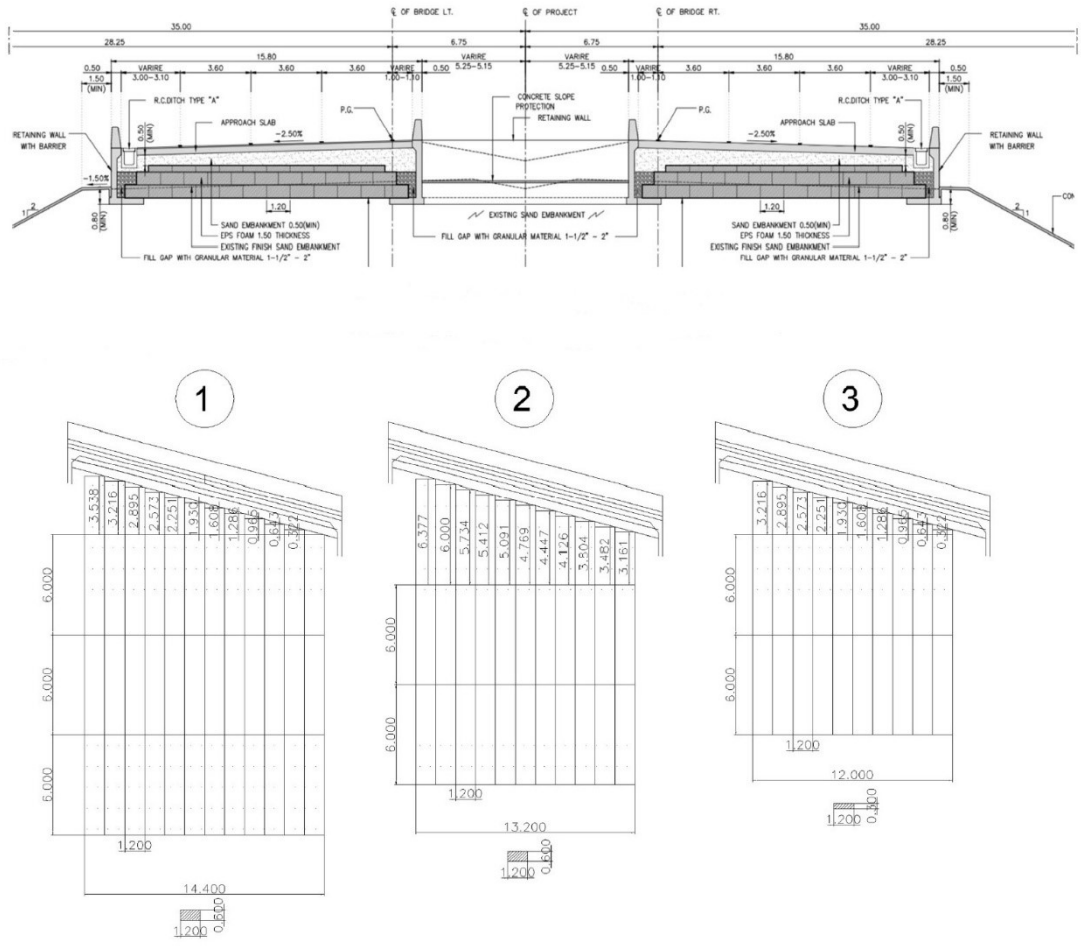


ภาพที่ 12 การปิดช่องอากาศรอยเชื่อมแผ่น Geomembrane

4.3 การติดตั้ง EPS Foam

วัสดุ EPS Foam ที่ได้รับการอนุมัติให้ใช้งานจากผู้ควบคุมงาน เมื่อทำการขนส่งมายังพื้นที่ก่อสร้าง ต้องทำการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติตามข้อกำหนด ASTM D7557 อีกครั้ง

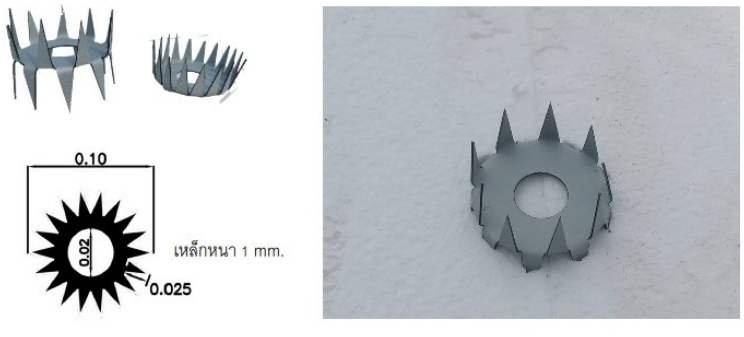
4.3.1 ติดตั้งบล็อก EPS Foam โดยจัดเรียงตามรูปแบบที่ได้กำหนดไว้ก่อนดำเนินงาน โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น ตามภาพที่ 13 การจัดเรียงรอยต่อตามยาวของบล็อก EPS Foam แต่ละชั้นต้องวางเป็นแนวตั้งฉากกับแนวขวางของ EPS Foam ชั้นที่วางก่อนหน้าที่ติดกัน หรือตามคำแนะนำจากทางบริษัทผู้ผลิต ความหนารวมทั้ง 3 ชั้นของ EPS Foam สูงสุด 1.50 เมตร ในด้านที่ติดกับโครงสร้าง Abutment สะพาน ในระหว่างดำเนินการก่อสร้างห้ามสัญจรบนพื้นผิวของบล็อก EPS Foam โดยตรง ภาพที่ 14 แสดงการติดตั้งบล็อก EPS Foam ในพื้นที่ก่อสร้าง



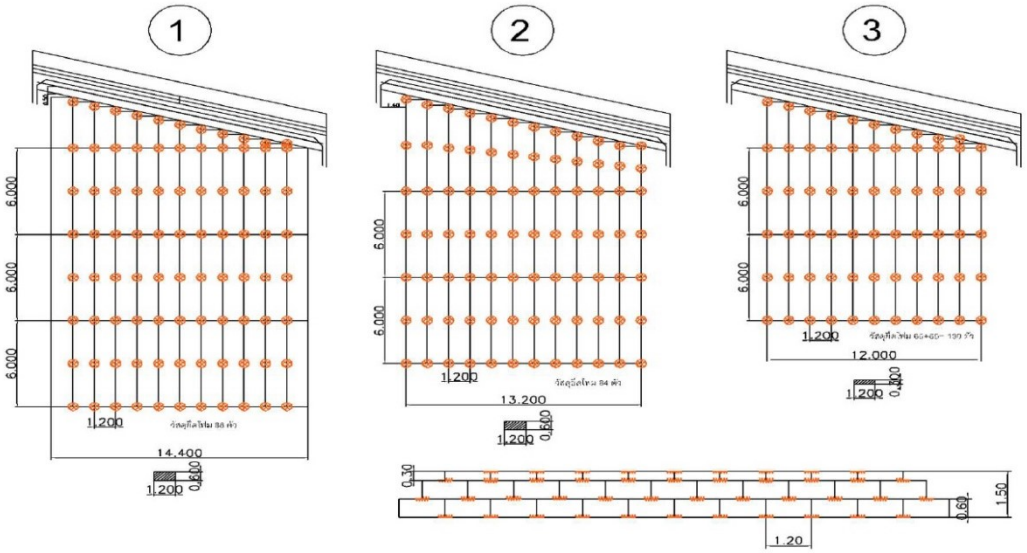
ภาพที่ 13 ภาพตัดตามขวางและ Plan รูปแบบการจัดวาง EPS Foam

4.3.2 การติดตั้งบล็อก EPS Foam ในแต่ละชิ้นส่วน ยึดติดกันด้วยอุปกรณ์ยึดที่เหมาะสม เพื่อความแข็งแรง อุปกรณ์จับยึดบล็อก EPS Foam ที่ใช้ในการก่อสร้างของโครงการฯ แสดงในภาพที่ 15 โดยยึดบล็อก EPS Foam ตามตำแหน่งในแต่ละชั้นแสดงในภาพที่ 16

ภาพที่ 14 การจัดวางบล็อก EPS Foam ในพื้นที่ก่อสร้าง



ภาพที่ 15 อุปกรณ์จับยึดบล็อก EPS Foam



ภาพที่ 16 ตำแหน่งการใช้อุปกรณ์จับยึดบล็อก EPS Foam

4.3.3 เมื่อจัดวางบล็อก EPS Foam แล้วเสร็จตามรูปแบบ จึงทำการปิดทับด้วยแผ่นพลาสติก Geomembrane ทั้งด้านข้างและด้านบน ตามภาพที่ 17 โดยใช้แผ่นพลาสติก Geomembrane ด้านล่างที่เผื่อระยะไว้ 2.0 เมตร จากการปูในครั้งแรก ปิดทับบล็อก EPS Foam ด้านข้าง และปูแผ่นพลาสติก Geomembrane ปิดทับด้านบน จากนั้นเชื่อมรอยต่อระหว่างแผ่น และทำการทดสอบรอยรั่ว

ภาพที่ 17 การปิดทับบล็อก EPS Foam ด้วยแผ่นพลาสติก Geomembrane

4.3.4 หลังจากปิดทับบล็อก EPS Foam ด้วย Geomembrane แล้ว จึงทำการลงวัสดุ Fill Gap with Granular Material ขนาด 1 ½ นิ้ว – 2 นิ้ว บริเวณพื้นที่ระหว่าง Retaining Wall, Abutment คอสะพาน และบล็อก EPS Foam ตามภาพที่ 18

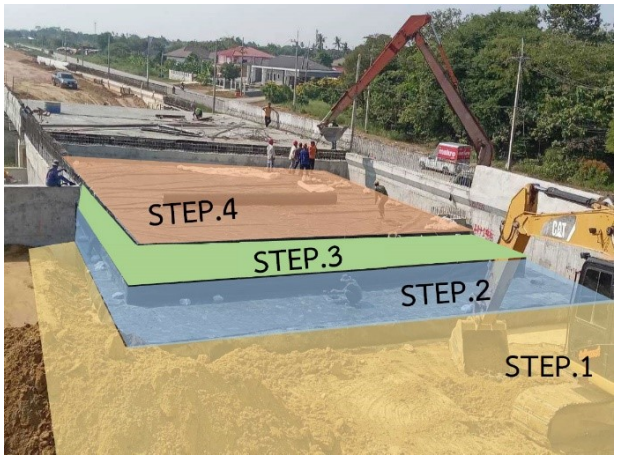
ภาพที่ 18 ลงวัสดุ Fill Gap with Granular Material

4.4 การก่อสร้างชั้นทางบนชั้น EPS Foam

4.4.1 ก่อสร้างชั้นทางด้านบนปิดทับชั้น EPS Foam ด้วยวัสดุทรายถมคันทางที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่ ทล.-ม.103/2532 “มาตรฐานทรายถมคันทาง” เกลี่ยแต่งและบดทับให้ได้แนวและระดับตามรูปแบบที่กำหนด โดยทำการก่อสร้างเป็นชั้นๆ ตามภาพที่ 19 ห้ามนำรถบรรทุกขนวัสดุหรือเครื่องจักรขนาดใหญ่ทำงานอยู่บนพื้นผิวของบล็อก EPS Foam โดยตรงในระหว่างการก่อสร้างชั้นทรายถมคันทางบนชั้น EPS Foam โดยต้องรองด้วยชั้นวัสดุทรายถมบดอัดความหนาไม่น้อยกว่า 0.15 เมตร โดยค่าความเค้นในแนวดิ่งที่กระทำต่อบล็อก EPS Foam ต้องมีค่าไม่เกินกว่าความเค้นอัดที่ความเครียด 1 % เครื่องจักรที่ใช้ในการบดทับควรใช้รถบดขนาดเล็กในการบดทับวัสดุ ความแน่นแห้งการบดทับไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตาม ทล.-ท.108/2515 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” ความหนารวมของชั้นทรายถมคันทางบนชั้น EPS Foam ไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร

4.4.2 ขั้นตอนการผสมน้ำและการคลุกเคล้าวัสดุทรายถม ให้ดำเนินการด้านนอกบริเวณพื้นที่ก่อสร้างชั้น EPS Foam และการขนวัสดุทรายถมที่ผสมน้ำและคลุกเคล้าจนมีความชื้นสม่ำเสมอแล้ว

ไปก่อสร้างบนชั้นวัสดุ EPS Foam ควรใช้การลำเลียงวัสดุจากภายนอกพื้นที่ เช่นสายพานหรือกระเช้ามายังพื้นที่ ที่ได้ติดตั้งบล็อก EPS Foam เพื่อป้องกันความเสียหายจากการทำงานของ รถบรรทุก หรือเครื่องจักรโดยตรง การก่อสร้างชั้นทรายถมคันทางบนชั้น EPS Foam แสดงดังภาพที่ 20



ภาพที่ 19 ลำดับขั้นการก่อสร้างชั้นทรายถมคันทางบนชั้น EPS Foam

ภาพที่ 20 กระบวนการทำงานก่อสร้างชั้นทรายถมคันทางบนชั้น EPS Foam

4.5 การควบคุมคุณภาพระหว่างการก่อสร้าง

4.5.1 แผ่นพลาสติก Geomembrane

แผ่นปูพลาสติก Geomembrane ผลิตจากพลาสติกประเภท Polyethylene ที่มีความหนาแน่นสูง High Density Polyethylene (HDPE) ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปต้องมีสีสม่ำเสมอ ไม่มีคราบเหนียว หรือรอยฉีกขาด คุณสมบัติวัสดุที่นำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางวิศวกรรมตามข้อกำหนด ผู้รับจ้างต้องส่งอย่างวัสดุแผ่นปูพลาสติก Geomembrane เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติตามข้อกำหนดเป็น General Test เสนอรายงานผลทดสอบคุณสมบัติวัสดุแก่ผู้ควบคุมงานเพื่อพิจารณาอนุมัติก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้าง และในระหว่างการก่อสร้างให้เก็บตัวอย่างที่ใช้งานจริงเป็น Control Test โดยกำหนดความถี่ในการเก็บตัวอย่าง จำนวน 3 ตัวอย่างต่อพื้นที่ 10,000 ตารางเมตร ขนาดตัวอย่าง 50.0 x 50.0 เซนติเมตร เพื่อทดสอบคุณสมบัติตามข้อกำหนด

1. การทดสอบกำลังต้านทานต่อการดึงลอก (Peel Strength Test) ตามมาตรฐาน ASTM D6392 Standard Test Method for Determining the Integrity to Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods

2. การทดสอบแรงดึงหรือแรงเฉือน (Tensile Strength Test) ตามมาตรฐาน ASTM D 6693 Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Nonreinforced Polyethylene and Nonreinforced Flexible Polypropylene Geomembrane

ในระหว่างการก่อสร้างต้องทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อม โดยกำหนดปริมาณทดสอบทุกระยะแนวเชื่อม 150 เมตรต่อ 1 จุดทดสอบ และในระหว่างการก่อสร้างหากพบรอยฉีกขาดหรือจุดที่ชำรุดต้องซ่อมแซมให้เรียบร้อยไม่ให้เกิดรอยรั่ว

4.5.2 EPS Foam

ผู้รับจ้างต้องส่งตัวอย่าง EPS Foam ทดสอบคุณสมบัติตามข้อกำหนดในแบบเป็น General Test เสนอรายงานผลทดสอบคุณสมบัติวัสดุแก่ผู้ควบคุมงานเพื่อพิจารณาอนุมัติก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้าง และในระหว่างการก่อสร้างชั้น EPS Foam ให้ทำการสุ่มเก็บแท่งตัวอย่างจากกองวัสดุที่จุดก่อสร้าง เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้งานในสนามเป็น Control Test โดยกำหนดความถี่ในการเก็บตัวอย่างจำนวน 1 บล็อกต่อปริมาตร EPS Foam 500 ลูกบาศก์เมตร สำหรับวัสดุชุดแรก และกำหนด 1 บล็อก ต่อปริมาตร EPS Foam 2,000 ลูกบาศก์เมตร สำหรับวัสดุชุดถัดไป ในระหว่างการก่อสร้าง ก่อนนำวัสดุบล็อก EPS ไปติดตั้งต้องทิ้งไว้อย่างน้อย 7 วัน เพื่อให้สารตัวกลางที่ใช้ขึ้นรูประเหยออกจนหมด ตัวอย่าง EPS Foam ที่เก็บ มีขนาด 0.60 x 1.20 x 1.50 และนำไปตัดแต่งเพื่อให้ได้ขนาด

ตามต้องการ เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมตามข้อกำหนดมาตรฐาน ASTM D6817 Standard Specification for Rigid Cellular Polystyrene Geofoam ได้แก่

(1) การทดสอบความหนาแน่นของแท่งตัวอย่าง EPS Foam ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D1622 Standard Test Method for Apparent Density of Rigid Cellular Plastics

(2) การทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่าง EPS Foam ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D1621 Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics

(3) การทดสอบกำลังรับแรงดัด ของแท่งตัวอย่าง EPS Foam ขนาด 4 x 4 x 16 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C203 Standard Test Method for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation

(4) การทดสอบความไวไฟ (Flammability & Oxygen Index) ของแท่งตัวอย่าง EPS Foam ขนาด 15 x 15 x 2.5 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D2863 Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index)

4.5.3 วัสดุโครงสร้างชั้นทาง

การควบคุมคุณภาพโครงสร้างชั้นทางแต่ละชั้นบน EPS Foam ให้เป็นไปตามมาตรฐานงานทางในแต่ละชั้น ประกอบด้วย

(1) Cement Modified Crushed Rock Base ตามมาตรฐานที่ ทล.-ม.203 มาตรฐานพื้นทางหินคลุกปสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base)

(2) Soil Aggregate Subbase Base ตามมาตรฐานที่ ทล.-ม.205 มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม

(3) Sand Embankment ตามมาตรฐานที่ ทล.-ม.103 มาตรฐานทรายถมคันทาง

4.6 ปัญหาและอุปสรรคในการก่อสร้าง

4.6.1 งานแผ่นปูพลาสติก Geomembrane

การติดตั้งแผ่นปูพลาสติก Geomembrane ในสนามเป็นงานที่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษเฉพาะทาง ผู้ปฏิบัติงานที่มี ทักษะ ความชำนาญ เพราะมีขั้นตอนที่มีความยุ่งยากในการปฏิบัติงาน เช่น

(1) การจัดวางแนวตะเข็บแผ่น Geomembrane ระหว่างชั้นของ EPS Foam ต้องวัดขนาดเพื่อตัดต่อและทำการเชื่อมด้วยวิธีอัดขึ้นรูป (Extrusion Welding) ซึ่งใช้เวลาในการทำงานขั้นตอนนี้พอสมควร

(2) การจัดแผ่น Geomembrane ให้เข้าตามขอบมุมของบล็อก EPS Foam แต่ละชั้น โดยใช้ถุงทรายที่มีน้ำหนักกดทับ และใช้เครื่องเป่าลมร้อนเพื่อจัดเข้ารูปตามบล็อก EPS Foam จากนั้นเชื่อมแผ่น Geomembrane ให้แนบสนิทด้วยเครื่องเชื่อม HDPE

(3) การเชื่อมรอยต่อมุมต่างๆ และมุมช่วง Skew Abutment ในแต่ละชั้นเป็นขั้นบันได พบปัญหาในการเชื่อมเข้ามุมทำได้ยาก ต้องใช้เครื่องมือเฉพาะทางและผู้รับจ้างเฉพาะด้านในการดำเนินการซึ่งใช้เวลาในจุดนี้มากกว่าจุดอื่นๆ

4.6.2 งาน EPS Foam

(1) งานติดตั้งชั้น EPS Foam ต้องมีการวางแผนในการจัดวางบล็อก โดยกำหนดรูปแบบ ขนาด จำนวนบล็อกในแต่ละชั้น กำหนดตำแหน่งการยึดติดบล็อกด้วยอุปกรณ์ โดยรายละเอียดเหล่านี้ ผู้รับจ้างต้องเสนอรูปแบบ Shop Drawing สำหรับการจัดวาง EPS Foam แต่ละก้อน ในทุกๆ ชั้น

(2) การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมตามข้อกำหนดในแบบของวัดุ EPS Foam และแผ่นพลาสติก Geomembrane ต้องใช้ห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องทดสอบและผู้ปฏิบัติงานที่มีความชำนาญ ไม่สามารถทำการทดสอบโดยห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุประจำโครงการฯ ได้

4.6.3 งานชั้นวัสดุบนชั้น EPS Foam

(1) การผสม คลุกเคล้า วัสดุทรายถมคันทาง และน้ำก่อนการบดทับ รวมถึงการขนวัสดุที่ผ่านขั้นตอนการผสม คลุกเคล้าแล้ว มายังพื้นที่ก่อสร้างไม่สามารถใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ปฏิบัติงานบนชั้น EPS Foam ได้โดยตรงซึ่งอาจทำให้บล็อก EPS Foam เสียหายหรือชำรุด จึงต้องใช้วิธีการทำงานภายนอกในบริเวณใกล้เคียง และใช้การลำเลียงวัสดุถมคันทางเพื่อนำไปก่อสร้างบนวัสดุบล็อก EPS Foam โดยใช้รถขุด (Excavator) ที่มีช่วงแขนขุด (Boom & Arm) หรือระยะการทำงานที่ยาวกว่าปกติ ในการลำเลียงโรยและเกลี่ยวัสดุบนชั้น EPS Foam

(2) การบดทับวัสดุทรายถมตามการแนะนำของผู้ออกแบบให้ใช้รถบดขนาดเล็กในการบดทับวัสดุจนกว่าจะได้ความหนาไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร ซึ่งจากการก่อสร้างแปลงทดลองในสภาพหน้างานจริง เครื่องจักรขนาดเล็กที่มีขนาดน้ำหนักไม่เกิน 3 ตัน ไม่สามารถเข้าพื้นที่ทำงานได้และผลการตรวจสอบความแน่นของการบดทับไม่ผ่าน

เกณฑ์ข้อกำหนด โครงการฯ จึงเปลี่ยนมาใช้รถบดขนาดกลางน้ำหนักไม่เกิน 10 ตัน บดทับวัสดุทรายถมที่โรยและเกลี่ยบน EPS Foam ไว้ ให้ได้ความหนาประมาณ 0.15 เมตร (ค่าความเค้นในแนวดิ่งที่กระทำต่อบล็อก EPS Foam ต้องมีค่าไม่เกินกว่าความเค้นอัดที่ความเครียด 1 %) แล้วบดทับโดยไม่เปิดระบบสั่นสะเทือน และใช้จำนวนเที่ยวการบดทับจำนวน 30 Pass แล้วทำการทดสอบความแน่นการบดทับ ซึ่งผลการทดสอบความแน่นการบดทับผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด โดยได้ค่าความแน่นการบดทับไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตาม ทล.-ท. 108/2515 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” หลังจากทำการก่อสร้างเป็นชั้นๆ จนได้ความหนารวมของทรายถมคันทางหลังการบดทับ 0.50 เมตรแล้ว จึงทำการก่อสร้างชั้นทรายถมคันทางต่อไปโดยเปิดใช้ระบบการสั่นสะเทือนบดทับตามปกติ จนได้ระดับในขั้นสุดท้ายและความแน่นการบดทับเป็นไปตามรูปแบบก่อสร้าง จึงทำการก่อสร้างชั้นทางในชั้นถัดไป

5. สรุปผลการดำเนินการ

โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษหมายเลข M81 สายกรุงเทพ - กาญจนบุรี ตอน 12 ได้ทำการแก้ไขรูปแบบสะพานที่ กม.41+173.631 ด้านซ้ายทาง และที่ กม.41+170.337 ด้านขวาทาง โดยการเพิ่มระยะความสูงของช่องลอดสะพานจากเดิม 2.60 เมตร เป็น 4.50 เมตร เพื่อให้ยานพาหนะ เช่น รถบรรทุก สามารถสัญจรผ่านไปได้และเป็นไปตามความประสงค์ของประชนผู้ใช้เส้นทางในพื้นที่ของโครงการฯ ทำให้โครงสร้างเชิงลาดสะพานต้องยกระดับให้สอดคล้องกับโครงสร้างสะพาน ทำให้ต้องเพิ่มความสูงของทรายถมคันทางอันเป็นการเพิ่มน้ำหนักที่กระทำต่อดินฐานรากและโครงสร้างสะพานเดิมที่ได้ทำก่อสร้างไปแล้วบางส่วน ผู้ออกแบบโดยบริษัทที่ปรึกษาการออกแบบ สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง จึงได้เลือกใช้วิธีการทดแทนวัสดุทรายถมด้วยวัสดุมวลเบา Expanded Polystyrene (EPS) Foam เพื่อเป็นการลดน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างทางและดินฐานราก โดยพิจารณาจากปัจจัยในด้านต่างๆ ได้แก่ เสถียรภาพความแข็งแรงของโครงสร้างทางและสะพาน ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง เทคนิคการก่อสร้างและระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง และได้ทำการก่อสร้างโดยการควบคุม ตรวจสอบคุณภาพวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง รวมถึงกำกับ ควบคุม ขั้นตอนการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามข้อกำหนด ทำให้การก่อสร้างสะพานละเชิงลาดสะพานทั้ง 2 แห่งสำเร็จลุล่วงด้วยดี สามารถรองรับการสัญจรของประชาชนผู้ใช้เส้นทางอันเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการฯ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณนายช่างโครงการ ผู้ช่วยนายช่างโครงการ ผู้ควบคุมงานและเจ้าหน้าที่ประจำโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษหมายเลข M81 สายกรุงเทพ - กาญจนบุรี ตอน 12 รวมถึงนายคณิต จิตร์แจ่ม วิศวกรผู้ออกแบบ บริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ข้อมูล รายละเอียดในการปฏิบัติงาน การก่อสร้างเชิงลาดสะพานโดยใช้วัสดุมวลเบา EPS Foam ทำให้การทำงานได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และเป็นการเผยแพร่ ความรู้ ประสบการณ์ในการปฏิบัติงานให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องต่อไป

บรรณานุกรม

[1] รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report) โครงการ การประยุกต์ใช้วัสดุมวลเบาประเภท EPS Geofoam ในงานก่อสร้างทาง สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง กุมภาพันธ์ 2557

[2] รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report) โครงการบูรณะปรับปรุงคอสะพานอย่างมีประสิทธิภาพ ถนนเชื่อมต่อทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 บริเวณ กม.39 (บางวัว) และถนนบางนา-ตราด กองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง กรมทางหลวง

[3] รายงาน งานก่อสร้างคันทางบนชั้นดินอ่อนโดยวัสดุ EPS Foam โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายบางใหญ่ – กาญจนบุรี ช่วง กม.38+500.000 - กม.44+266.833 (ตอน 12) คณะทำงานและติดตามงานก่อสร้างวัสดุ EPS Foam และงาน Geomembrane, สำนักก่อสร้างทางที่ 1 กรมทางหลวง มกราคม 2568

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของวัสดุ EPS Foam : Control Test

ลำดับ	รายการ	มาตรฐานข้อกำหนด	เกณฑ์	หน่วย	สถาบันที่ทดสอบวัสดุ	ผลการทดสอบ Control Test				หมายเหตุ
1	**ส่งทดสอบ EPS FOAM No.1**					SPEC NO.1	SPEC NO.2	SPEC NO.3		
	1.การวัดขนาดและความหนาแน่น (DENSITY)	ASTM D1622	>0.24 (15lb/ft^3)	kn/m^3	มจธ.(บางมด)	0.25	0.25	0.25		
	2.การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) 1% strain	ASTM D1621	> = 60	kPa	มจธ.(บางมด)	70.81	76.27	72.43		
	3.การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) 5% strain	ASTM D1621	> = 135	kPa	มจธ.(บางมด)	157.52	164.90	153.97		
	4.การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) 10% strain	ASTM D1621	> = 155	kPa	มจธ.(บางมด)	170.61	177.22	164.99		
	5.การรับแรงดัด (FLEXURAL STRENGTH) 10% strain	ASTM C203	> = 265	kPa	กรมวิทยาศาสตร์บริการ				363.33	
	6.ความไวไฟ (FLAMMABILITY OR OXYGEN INDEX)	ASTM D2863	> = 24%	%	STREC จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย				28.50	

ลำดับ	รายการ	มาตรฐานข้อกำหนด	เกณฑ์	หน่วย	สถาบันที่ทดสอบวัสดุ	ผลการทดสอบ Control Test				หมายเหตุ
2	**ส่งทดสอบ EPS FOAM No.2**					SPEC NO.1	SPEC NO.2	SPEC NO.3		
	1.การวัดขนาดและความหนาแน่น (DENSITY)	ASTM D1622	>0.24 (15lb/ft^3)	kn/m^3	มจธ.(บางมด)	0.25	0.25	0.25		
	2.การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) 1% strain	ASTM D1621	> = 60	kPa	มจธ.(บางมด)	62.32	64.41	83.39		
	3.การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) 5% strain	ASTM D1621	> = 135	kPa	มจธ.(บางมด)	155.69	146.49	155.28		
	4.การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) 10% strain	ASTM D1621	> = 155	kPa	มจธ.(บางมด)	167.49	158.18	166.74		
	5.การรับแรงดัด (FLEXURAL STRENGTH) 10% strain	ASTM C203	> = 265	kPa	กรมวิทยาศาสตร์บริการ				283.33	
	6.ความไวไฟ (FLAMMABILITY OR OXYGEN INDEX)	ASTM D2863	> = 24%	%	STREC จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย				26.80	

ลำดับ	รายการ	มาตรฐานข้อกำหนด	เกณฑ์	หน่วย	สถาบันที่ทดสอบวัสดุ	ผลการทดสอบ Control Test				หมายเหตุ
3	**ส่งทดสอบ EPS FOAM No.3**					SPEC NO.1	SPEC NO.2	SPEC NO.3		
	1.การวัดขนาดและความหนาแน่น (DENSITY)	ASTM D1622	>0.24 (15lb/ft^3)	kn/m^3	มจธ.(บางมด)	0.26	0.27	0.27		
	2.การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) 1% strain	ASTM D1621	> = 60	kPa	มจธ.(บางมด)	70.68	72.62	77.30		
	3.การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) 5% strain	ASTM D1621	> = 135	kPa	มจธ.(บางมด)	156.24	162.80	161.02		
	4.การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) 10% strain	ASTM D1621	> = 155	kPa	มจธ.(บางมด)	166.68	173.94	172.03		
	5.การรับแรงดัด (FLEXURAL STRENGTH) 10% strain	ASTM C203	> = 265	kPa	กรมวิทยาศาสตร์บริการ				360.00	
	6.ความไวไฟ (FLAMMABILITY OR OXYGEN INDEX)	ASTM D2863	> = 24%	%	STREC จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย				32.00	

ลำดับ	รายการ	มาตรฐานข้อกำหนด	เกณฑ์	หน่วย	สถาบันที่ทดสอบวัสดุ	ผลการทดสอบ Control Test				หมายเหตุ
4	**ส่งทดสอบ EPS FOAM No.4**					SPEC NO.1	SPEC NO.2	SPEC NO.3		
	1.การวัดขนาดและความหนาแน่น (DENSITY)	ASTM D1622	>0.24 (15lb/ft^3)	kn/m^3	มจธ.(บางมด)	0.25	0.25	0.24		
	2.การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) 1% strain	ASTM D1621	> = 60	kPa	มจธ.(บางมด)	68.66	86.47	64.14		
	3.การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) 5% strain	ASTM D1621	> = 135	kPa	มจธ.(บางมด)	159.23	161.91	146.43		
	4.การรับแรงอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) 10% strain	ASTM D1621	> = 155	kPa	มจธ.(บางมด)	170.81	174.57	157.40		
	5.การรับแรงดัด (FLEXURAL STRENGTH) 10% strain	ASTM C203	> = 265	kPa	กรมวิทยาศาสตร์บริการ				313.33	
	6.ความไวไฟ (FLAMMABILITY OR OXYGEN INDEX)	ASTM D2863	> = 24%	%	STREC จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย				28.20	

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของ Geomembrane : Control Test

ลำดับ	รายการ	มาตรฐานข้อกำหนด	หน่วย	สถาบันที่ทดสอบวัสดุ	ผล General Test	ผล Control Test	หมายเหตุ
	ส่งทดสอบ GEOMEMBRANE						
1	ความหนาเฉลี่ย (AVERAGE THICKNESS)	ASTM D5199	mm.	สถาบันวิทยาศาสตร์และวิจัยเทคโนโลยี (วว.)	0.75	0.75	
2	ความหนาแน่น (DENSITY)	ASTM D1505	gm/cm^3	สถาบันวิทยาศาสตร์และวิจัยเทคโนโลยี (วว.)	0.95	0.946	
3	ปริมาณคาร์บอน (CARBON BLACK CONTENT)	ASTM D4218	%	สถาบันวิทยาศาสตร์และวิจัยเทคโนโลยี (วว.)	2.67	2.46	
4	การกระจายตัวของคาร์บอนในเนื้อวัสดุ (DEGREE OF DISPERSION)	ASTM D5596	CATEGORY	สถาบันวิทยาศาสตร์และวิจัยเทคโนโลยี (วว.)	10.00	10.00	
5	ระยะเวลาในการต้านปฏิกิริยาเคมีสาเหตุจากออกซิเจน เนื่องจากสารผสมเพิ่ม (OXIDATIVE INDUCTION TIME ,OIT)	ASTM D3895	> 100	สถาบันวิทยาศาสตร์และวิจัยเทคโนโลยี (วว.)	140.00	142.00	
6	กำลังแรงดึงที่จุดคราก (TENSILE STRENGTH AT YIELD)	ASTM D6693	> 11	สถาบันวิทยาศาสตร์และวิจัยเทคโนโลยี (วว.)	15.00	14.30	
7	กำลังแรงดึงสูงสุด (TENSILE STRENGTH AT BREAK)	ASTM D6693	> 21	สถาบันวิทยาศาสตร์และวิจัยเทคโนโลยี (วว.)	27.40	27.50	
8	การยืดตัวที่จุดคราก (ELONGATION AT YIELD)	ASTM D6693	> 13	สถาบันวิทยาศาสตร์และวิจัยเทคโนโลยี (วว.)	18.80	19.40	
9	การยืดตัวสูงสุด (ELONGATION AT BREAK)	ASTM D6693	> 700	สถาบันวิทยาศาสตร์และวิจัยเทคโนโลยี (วว.)	968.00	964.00	
10	กำลังต้านทานต่อการเจาะทะลุ (PUNCTURE RESISTANCE)	ASTM D4833	> 265	สถาบันวิทยาศาสตร์และวิจัยเทคโนโลยี (วว.)	381.00	352.00	
11	กำลังต้านทานต่อการกัดกร่อน (TEAR RESISTANCE)	ASTM D1004	> 93	สถาบันวิทยาศาสตร์และวิจัยเทคโนโลยี (วว.)	129.00	124.00	