

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาทดลองแอสฟัลต์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น โดยใช้ เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้ายต่าง ๆ กัน เป็นวัสดุมวลรวมหยาบและใช้ยางแอสฟัลท์ชนิดเหลวเป็นยางประสาน ทั้งกรณี แชน้ำและไม่แชน้ำ สามารถสรุปได้ ดังต่อไปนี้

5.1.1 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของเม็ดดินเผา พบว่า

5.1.1.1 ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินเผาจะลดลง เมื่ออุณหภูมิการเผาสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นจาก 900°C เป็น $1,100^{\circ}\text{C}$ ซึ่งส่งผลให้ความหนาแน่นรวมลดน้อยลง เมื่ออุณหภูมิเผาสุดท้ายสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินเผาจะมีค่าน้อยกว่าทรายและหินฝุ่นอีกด้วย

5.1.1.2 ค่าความสึกหรอของเม็ดดินเผาจะลดลง เมื่ออุณหภูมิการเผาสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นจาก 900°C เป็น $1,100^{\circ}\text{C}$ ซึ่งค่าความสึกหรอนั้น ยังมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดมาตรฐานของกรมทางหลวงซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 40%

5.1.1.3 ค่าการดูดซึมน้ำของเม็ดดินเผาจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิการเผาสุดท้ายเพิ่มขึ้นจาก 900°C เป็น $1,100^{\circ}\text{C}$ และยังมีอัตราการดูดซึมน้ำค่อนข้างสูงมาก ซึ่งมีผลต่อการเกิดช่องว่างอากาศทั้งหมด
เผาได้ง่าย

5.1.1.4 ค่า PSV เม็ดดินเผาจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิการเผาสุดท้ายเพิ่มขึ้นจาก 900°C เป็น $1,100^{\circ}\text{C}$ ซึ่งค่า PSV นั้น ยังมีค่ามากกว่าข้อเสนอแนะของ Bunnag, et al (1, 3) ซึ่งมากกว่า 45

5.1.1.5 ค่าการเคลือบผิวและการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์ เกรดต่าง ๆ กับเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้ายต่าง ๆ นั้น พบว่า เปอร์เซนต์การเคลือบผิวแบบแห้งของยางแอสฟัลท์อิมัลชัน เกรด CM-K และ SS-K มีค่ามากกว่าเมื่อใช้ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250

ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของยางแอสฟัลท์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะเกิดการหลุดลอกมากเมื่อใช้มวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้ายสูงขึ้นจาก 900°C เป็น $1,100^{\circ}\text{C}$ กับยางคัทแบ็คแอสฟัลท์เกรด MC-250

5.1.1.6 ข้อดีของเม็ดดินเผา คือ สามารถควบคุมการผลิตให้มีรูปร่างและขนาดตามที่ต้องการได้ ซึ่งรูปร่างและขนาดของมวลรวมที่ดีจะให้คุณสมบัติในการขัดกันระหว่างวัสดุมวลรวมดี ซึ่งส่งผลให้ค่าเสถียรภาพ ความหนาแน่นสูงขึ้น

5.1.2 ผลการวิจัยแอสฟัลท์ดิกคอนกรีตแบบผสมเย็น การศึกษาวิจัยได้ใช้เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 900°C , $1,000^{\circ}\text{C}$ และ $1,100^{\circ}\text{C}$ เป็นวัสดุมวลรวมหยาบ โดยมียางแอสฟัลท์ชนิดเหลว รวม 2 ชนิด คือ ยางแอสฟัลท์อีมีลชั่น เกรด CM-K และ SS-K กับยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน จากผลการวิจัยสรุปผลได้ดังนี้

5.1.2.1 เมื่อใช้มวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย $1,000^{\circ}\text{C}$ โดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน ให้ผลการทดลองดีที่สุด ทั้งด้านเสถียรภาพกรณีแช่น้ำ การสูญเสียค่าเสถียรภาพ ความหนาแน่นรวมแห้ง ปริมาณเนื้อยางที่เหมาะสมที่สุด แต่เปอร์เซ็นต์การหลุดลอกของยางแอสฟัลท์ค่อนข้างสูง เนื่องจากให้ค่าการเคลือบผิวต่ำ ในสภาพที่แช่น้ำ ดังนั้นยางแอสฟัลท์เกรด MC-250 จึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับถนนที่อยู่สูงกว่าระดับน้ำท่วมถึง ส่วนการใช้ยางแอสฟัลท์เกรด CM-K และ SS-K ให้ผลรองลงมาตามลำดับ

5.1.2.2 ในสภาพแช่น้ำ (Soak) เช่น ถนนที่มีน้ำท่วมขัง ถนนที่มีน้ำท่วมถึง หรือพื้นที่ที่มีฝนตกชุก ยางแอสฟัลท์อีมีลชั่น เกรด CM-K ให้ผลการทดลองแบบผสมเย็นดีที่สุด เพราะว่ายางแอสฟัลท์มีโอกาสเกิดการหลุดลอกที่น้อยกว่าและยังให้ดีกว่ายางแอสฟัลท์เกรด SS-K และ MC-250 ตามลำดับ

5.1.2.3 ในกรณีเปรียบเทียบผลการทดลองแอสฟัลท์ดิกคอนกรีตแบบผสมเย็น ได้นำผลการทดลองแอสฟัลท์ดิกคอนกรีตแบบผสมเย็น ที่ใช้เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1000°C เป็นวัสดุมวลรวมหยาบ ทราฟและหินฝุ่น เป็นวัสดุมวลรวมละเอียด โดยมียางแอสฟัลท์ชนิดเหลว เกรด CM-K MC-250 และ SS-K เป็นยางประสาน มาเปรียบเทียบกับการทดลองแอสฟัลท์ดิกคอนกรีตแบบผสมเย็น ซึ่งได้ทำการศึกษามาแล้วในอดีต ที่ใช้หินปูนหรือกรวด เป็นวัสดุมวลรวมหยาบ จากผลการศึกษาพบว่า แอสฟัลท์ดิกคอนกรีตเม็ดดินเผาให้ผลของค่าการดูดซึมน้ำ สูงกว่าแอสฟัลท์ดิกคอนกรีตหินปูนหรือกรวด และค่าทั้งหมดที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถนำไปใช้ทำผิวทางที่มีปริมาณการจราจรขนาดค้ำถึงปริมาณการจราจรขนาดปานกลางได้ ยกเว้นการใช้ยางแอสฟัลท์ เกรด SS-K เป็นยางประสานจะให้ผลของช่องว่างอากาศทั้งหมดสูงกว่าขีดมาตรฐาน

กำหนด ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานให้สั้นลงเมื่อนำไปใช้ทำผิวทาง การแก้ไขทำได้โดยการทำซิลิโคนปิดทับผิวหน้าอีกครั้ง เพื่อป้องกันน้ำจากธรรมชาติซึมเข้าสู่ผิวทางได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาวิจัยขั้นต่อไป ควรได้มีการศึกษาเพิ่มเติม ดังนี้

ก. การศึกษาวิธีเพิ่มเปอร์เซ็นต์การเคลือบผิวของยางแอสฟัลท์เกรดต่าง ๆ กับมวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้ายต่าง ๆ โดยศึกษาจากสารผสมเพิ่ม (Additive Agent) ที่ให้ผลการเคลือบผิวที่ดีที่สุด ทั้งชนิดของยางแอสฟัลท์และเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย

ข. ศึกษาการใช้แอสฟัลท์ดิกคอนกรีตแบบผสมเย็น ในการทำเป็นผิวทางที่มีปริมาณการจราจรสูง หรือมีสภาพน้ำท่วม

ค. ศึกษาเปรียบเทียบแอสฟัลท์ดิกคอนกรีตแบบผสมร้อนและผสมเย็น โดยใช้ยางแอสฟัลท์อีมีลชันประเภทไฮโฟลด์ เป็นยางประสาน

5.2.2 ในการนำส่วนผสมแอสฟัลท์ดิกคอนกรีตแบบผสมเย็นไปใช้ในงานก่อสร้างชั้นผิวทาง จะถูกกระทำจากสภาพดินฟ้าอากาศได้ง่าย เนื่องจากส่วนผสมเย็นจะมีช่องว่างอากาศทั้งหมดค่อนข้างสูง จึงควรทำซิลิโคน (Seal Coat) ปิดทับหน้าผิวทางอีกครั้ง เพื่อป้องกันน้ำจากธรรมชาติเข้าสู่ผิวทาง นอกจากนี้ ควรใช้ปริมาณเนื้อยางแอสฟัลท์ในส่วนผสมให้มีปริมาณเท่ากับการออกแบบจากวิธีผสมร้อน เพื่อผลทางด้านความยืดหยุ่น (Flexibility) การเคลือบผิววัสดุมวลรวมและความคงทน (Durability)

5.2.3 เพื่อให้เกิดการเคลือบผิววัสดุมวลรวมที่ดี การผสมวัสดุมวลรวมกับยางแอสฟัลท์ชนิดเหลว ควรดำเนินการดังนี้

ก. ใช้ยางแอสฟัลท์อีมีลชัน เกรด CM-K และ SS-K เป็นยางประสาน เนื่องจากว่ายางแอสฟัลท์อีมีลชัน ทำใหยางแอสฟัลท์แตกตัวในน้ำและใช้น้ำเป็นตัวลดความหนืดของยาง ในเวลาใช้งานวัสดุมวลรวมจะอุดน้ำที่ผสมอยู่ในยางแอสฟัลท์อีมีลชัน ทำใหยางแอสฟัลท์จับตัวกันเป็นลูกกลม ๆ ที่หุ้มด้วยฝุ่นได้ (Ball up)^(6,18) อันจะทำให้ยางแอสฟัลท์เคลือบผิววัสดุมวลรวมได้ไม่ทั่วถึง และไม่ทำให้เกิดการผสมอย่างสม่ำเสมอ (Uniform Mix) ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับวัสดุมวลรวมที่มีเปอร์เซ็นต์ลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 สูง ถ้าปริมาณน้ำที่เดิมเข้าไปผสมกับวัสดุมวลรวมไม่เพียงพอ จะมีผลทำใหยางแอสฟัลท์อีมีลชันไปเคลือบส่วนละเอียดสูงและทำให้เกิดลูกกลม ๆ ที่หุ้มด้วยฝุ่นแล้ว ยังทำใหยางแอสฟัลท์ส่วนที่เหลือไม่เพียงพอที่จะเคลือบส่วนหยาบได้

การแก้ไข แยกเม็ดดินเผา ททรายและหินฝุ่นออกเป็น 2 ส่วน นำเอาเฉพาะ วัสดุขมวลรวมหยาบเม็ดดินเผา มาใส่ลงในกะละมัง ใส่ น้ำทั้งหมดตามจำนวนที่คำนวณได้ ใช้เกรียง ริมผสมโดยเร็ว เมื่อเม็ดดินเผา เข้ากันกับน้ำได้ทั่วดีแล้ว เทยางแอสฟัลท์อีมีลขึ้นตามปริมาณที่ คำนวณได้ลงในเม็ดดินเผา ใช้เกรียงริมผสมเพื่อให้เม็ดดินเผา เข้ากับยางแอสฟัลท์โดยเร็ว พยายามให้ยางแอสฟัลท์เคลือบเม็ดดินเผาทุกเม็ด เทวัสดุขมวลรวมละเอียด (ทรายและหินฝุ่น) ลงในกะละมังเม็ดดินเผา ใช้เกรียงริมผสมให้เข้ากันโดยเร็วที่สุด ระยะเวลาที่ใช้ผสมทั้งหมดไม่ ควรเกิน 5 นาที เพราะจะทำให้ยางแอสฟัลท์อีมีลขึ้นเกิดการแตกตัวก่อน ซึ่งสังเกตได้จาก ยางแอสฟัลท์เปลี่ยนสีจากสีน้ำตาลมาเป็นสีดำ⁽¹⁸⁾ ถ้าหากว่าส่วนผสมยังเคลือบผิวไม่ดี อาจจะ ให้ความร้อนแก่ยางแอสฟัลท์อีมีลขึ้นได้ โดยให้ความร้อนเข้าใกล้ความร้อนทางด้านสูง ดังแสดง ในตารางที่ 2.10 คือให้ความร้อนไม่เกิน 70°ซ ถ้าระยะเวลาที่ใช้ในการผสมนานเกินไป มีโอกาสทำให้ยางแอสฟัลท์อีมีลขึ้นเกิดการหลุดลอกของยางจากผิววัสดุขมวลรวมได้ เนื่องจาก ยางแอสฟัลท์เกิดการแตกตัวเสียก่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งยางแอสฟัลท์อีมีลขึ้น ชนิดที่มีประจุลบ (Anionic) ระยะเวลาในการผสมที่ดีควรประมาณ 2 นาที แต่อาจจะอยู่ในช่วงเวลา 1-6 นาทีได้ การพ่นยางแอสฟัลท์เป็นฝอยบาง ๆ อย่างต่อเนื่องลงในวัสดุขมวลรวม ในขณะที่เครื่องผสม กำลังหมุนอยู่จะทำให้การเคลือบผิวยิ่งขึ้น⁽³⁹⁾

สำหรับการผสมวัสดุขมวลรวมแบบผสมเย็นในสนาม ที่ใช้ยางแอสฟัลท์อีมีลขึ้นเป็นยางประสาน จะค่อนข้างมีความยุ่งยาก แต่สามารถทำได้โดยการแบ่งวัสดุขมวลรวมออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ ค้างบนตะแกรงเบอร์ 8 และส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ใส่ น้ำทั้งหมดตามปริมาณที่คำนวณได้ ลงในวัสดุขมวลรวมส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 8 แล้วผสมด้วยเครื่องผสมคอนกรีต เครื่องผสมอื่น ๆ หรือใช้คนผสมโดยใช้เครื่องมือผสม เช่น พลั่ว จอบ เป็นต้น ทำการผสมโดยเร็วจนวัสดุขมวลรวม เข้ากับน้ำดีแล้ว พ่น สาคหรือเทยางแอสฟัลท์อีมีลขึ้นตามปริมาณที่คำนวณได้ลงบนวัสดุขมวลรวมให้ทั่ว มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ แล้วผสมต่อไปจนกระทั่งยางแอสฟัลท์อีมีลขึ้นเคลือบผิววัสดุขมวลรวมจนทั่ว เทวัสดุขมวลรวมส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ลงในเครื่องผสมในขณะที่เครื่องกำลังผสมอยู่ ให้ดำเนินการ ผสมต่อไปจนกระทั่งส่วนผสมคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกัน จึงนำไปใช้งานได้ ระยะเวลาในการ ผสมทั้งหมดไม่ควรเกิน 5 นาที

ข. ใช้ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน สำหรับ วัสดุขมวลรวมคละที่มีการเรียงขนาดแน่น (Dense-Grade Aggregate) จะมีวัสดุขมวลรวมที่เป็น

ส่วนละเอียดมาก เมื่อนำมาผสมกับยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ มีโอกาสจะทำให้เกิดลูกกลม ๆ ของยางที่หุ้มด้วยฝุ่นได้ (Ball up) อันจะทำให้ยางแอสฟัลท์เคลือบผิววัสดุรวมได้ไม่ทั่วถึง และไม่ทำให้เกิดการผสมอย่างสม่ำเสมอด้วย^(16,18) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อวัสดุรวมสกปรก เบียดหรือมีความชื้นตามธรรมชาติสูง จะทำให้การเคลือบผิวไม่ดี

การแก้ไข แยกเม็ดดินเผา, ทรายและหินฝุ่นออกเป็น 2 ส่วน นำเอาเฉพาะมวลรวมหยาบเม็ดดินเผาไปใส่ลงในกะละมัง นำยางแอสฟัลท์ซึ่งอุณหภูมิ 50° ซ ถึง 80° ซ ดังแสดงในตารางที่ 2.10 มาเทลงในเม็ดดินเผาตามปริมาณที่คำนวณได้ ใช้เกรียงรียผสมเพื่อให้ยางแอสฟัลท์เคลือบผิวเม็ดดินเผาทุกเม็ด เทวัสดุรวมละเอียด (ทรายและหินฝุ่น) ลงในกะละมังเม็ดดินเผา แล้วใช้เกรียงรียผสมโดยเร็วเพื่อให้ยางแอสฟัลท์เคลือบผิววัสดุรวมให้ทั่ว ระยะเวลาที่ใช้ในการผสมทั้งหมดไม่ควรเกิน 5 นาที

สำหรับการผสมวัสดุรวมแบบผสมเย็นในสนาม ที่ใช้ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์เป็นยางประสาน สามารถทำได้ดังนี้ คือ ให้พ่น สาดหรือเทยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ซึ่งได้อุ่นตามอุณหภูมิที่ต้องการแล้วลงบนวัสดุรวมส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 8 ตามปริมาณที่คำนวณได้ในขณะที่เครื่องกำลังผสมอยู่ รียทำการผสมโดยเร็วเพื่อให้ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์เคลือบผิววัสดุรวมจนทั่ว เมื่อเห็นว่ายางคัทแบ็คแอสฟัลท์เคลือบผิววัสดุรวมดีแล้ว เทวัสดุรวมส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ลงในเครื่องผสมอีก แล้วดำเนินการผสมต่อไปจนกระทั่งส่วนผสมผสมคลุกเคล้า เป็นเนื้อเดียวกัน จึงนำไปใช้งานได้