

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลองคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุขมวลรวม

4.1.1 คุณสมบัติของเม็ดดินเผา เม็ดดินเผาที่ทำการผลิต มีรูปร่าง เป็นรูปทรงกระบอกโดยมีความยาวประมาณเท่ากับ เส้นผ่าศูนย์กลางของขนาดนั้น ๆ ขนาดที่ทำการผลิต สำหรับการวิจัยนี้มีด้วยกัน 3 ขนาด คือ $\frac{3}{4}$ นิ้ว $\frac{1}{2}$ นิ้ว และ $\frac{3}{8}$ นิ้ว อุณหภูมิการเผาสุดท้ายที่ 900°C 1000°C และ $1,100^{\circ}\text{C}$ และในตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของเม็ดดินเผา ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1.1.1 ค่าความถ่วงจำเพาะ จากผลการทดลองพบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินเผาจะลดลง เมื่ออุณหภูมิการเผาสุดท้ายสูงขึ้น ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า เม็ดดินเผาเมื่อถูกเผาด้วยอุณหภูมิเผาสุดท้ายที่ 900°C ถึง $1,100^{\circ}\text{C}$ น้ำหนักของเม็ดดินเผาจะค่อย ๆ ลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวของแร่บางชนิดทั้งแร่ดินเหนียว และแร่ที่ไม่ใช่ดินเหนียวที่ประกอบอยู่ในดิน รวมทั้งส่วนประกอบที่เป็นน้ำในแร่ดินเหนียวจะเกิดการระเหยออกไป ในขณะที่เดียวกันมวลของเม็ดดินเผาจะเริ่มอ่อนตัวขึ้นเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิสุดท้ายที่เผา ทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกกักเก็บในเม็ดดินเผาในลักษณะของฟองอากาศ (Buoble) ยังผลให้เม็ดดินเผามีปริมาตรเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะลดค่าลง เมื่ออุณหภูมิการเผาสุดท้ายสูงขึ้น

4.1.1.2 ค่าความสึกหรอ จากผลการทดลองหาค่าความสึกหรอของเม็ดดินเผาขนาดค้ำบนตระแกรง $\frac{1}{2}$ นิ้ว และ $\frac{3}{8}$ นิ้ว พบว่า ค่าความสึกหรอของเม็ดดินเผา มีค่าอยู่ระหว่าง 27.6% - 27.0% ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานของกรมทางหลวง นอกจากนี้ ยังพบว่า ค่าความสึกหรอจะลดลงเมื่ออุณหภูมิการเผาสุดท้ายเพิ่มขึ้นจาก 900°C เป็น $1,100^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า เม็ดดินเผา เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง ๆ ประมาณ 900°C ถึง $1,100^{\circ}\text{C}$ ทั้งโครงสร้างของแร่ดินเหนียวและแร่ที่ไม่ใช่ดินเหนียวจะถูกทำลาย ในขณะที่เดียวกันจะเกิดการรวมตัวกันของส่วนประกอบออกไซด์ของแร่ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในดินและที่ได้จากการสลายตัวของแร่ดินเหนียว และแร่ที่ไม่ใช่ดินเหนียว เกิดเป็นสารประกอบใหม่ ซึ่งจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาที่เพิ่มขึ้น ยังผลให้กำลังของเม็ดดินเผาเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Hosking^(4,41) ซึ่งได้ทำการศึกษามาแล้วในอดีต จะได้ผลการทดลองคล้ายกัน กล่าวคือ เม็ดดินเผาเมื่อถูกเผาด้วยอุณหภูมิการเผาสูงขึ้น จะให้ค่าความสึกหรอลดต่ำลง

4.1.1.3 ค่าการดูดซึมน้ำ จากผลการทดลอง พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำของเม็ดดินเผาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาสุดท้ายเพิ่มขึ้นจาก 900°C เป็น $1,100^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เม็ดดินเผาเมื่อถูกเผได้ถึงอุณหภูมิสูง ๆ ประมาณ 900°C ถึง $1,100^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เม็ดดินเผาเริ่มจะอ่อนตัว ดังนั้น ก๊าซที่เกิดขึ้นภายในเม็ดดินยังคงจะสามารถหนีออกไปในระหว่างการเผา ยังผลให้เกิดความพรุนเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาสุดท้ายที่เพิ่มขึ้น

4.1.1.4 ค่า PSV เนื่องจากเกณฑ์ในการตัดสินค่า PSV กรมทางหลวงยังไม่ได้กำหนดเป็นมาตรฐานขึ้น ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงถือตามคำแนะนำของ Bunnag, et al^(1,3) ซึ่งได้แนะนำไว้ว่า ทางหลวงชั้น 1 ชั้น 2 และถนนแยก ที่มีปริมาณการจราจรมากกว่า 1,500 คันต่อวัน ควรมีค่า PSV ของวัสดุรวมมากกว่า 45 ขึ้นไป เมื่อวัดด้วยเครื่องมือทดลอง British Portable Tester และให้ถือค่า PSV หลังขัดเป็นเกณฑ์ตัดสิน เพราะว่าให้ค่า PSV ต่ำกว่า

จากผลการทดลองหาค่า PSV ของเม็ดดินเผาขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว พบว่าค่า PSV หลังขัดของเม็ดดินเผามีค่าอยู่ระหว่าง 60-64 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในข้อแนะนำของ Bunnag, et al นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า PSV จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาสุดท้ายเพิ่มขึ้นจาก 900°C เป็น $1,100^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เม็ดดินเผาเมื่อถูกเผได้ถึงอุณหภูมิสูง ๆ ประมาณ 900°C ถึง $1,100^{\circ}\text{C}$ จะเกิดการสูญเสียน้ำหรือ OH Group ในโครงของดินและก๊าซที่เกิดขึ้นภายในเม็ดดินจะหนีออกไปในระหว่างการเผา ยังผลให้เกิดความพรุนและความหยาบเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาสุดท้ายที่เพิ่มขึ้น และเมื่อนำไปขัดค่า PSV จึงเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก 900°C เป็น $1,100^{\circ}\text{C}$

4.1.1.5 ค่าดัชนีความแบน เนื่องจากเม็ดดินเผาที่ผลิตขึ้นมา มีรูปร่างเป็นรูปทรงกระบอก มีความยาวโดยประมาณใกล้เคียงกับเส้นผ่าศูนย์กลางของขนาดนั้น ซึ่งถือว่าเม็ดดินเผามีลักษณะเป็นมวลรวมขนาดเดียว (Single-Sized Aggregate) จึงไม่สมควรหาดัชนีความแบนได้

4.1.1.6 ค่าการเคลือบผิวและการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์ วัสดุมวลรวมที่ผิวแห้งและเปียกจะมีผลต่อการเคลือบผิวและการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์ ในการวิจัยนี้จะเน้นเฉพาะการเคลือบผิว และการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์ เกรด CM-K, MC-250 และ SS-K จากผลการทดลองกับเม็ดดินเผาขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว พบว่า ก) การเคลือบผิวของเม็ดดินเผาแบบเปียก (Wet-Aggregate Coated) ด้วยยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 ให้ค่าการเคลือบผิวมากกว่า 95% ทั้ง 3 อุณหภูมิ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานของ ASTM D 1664-69 นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ค่าการเคลือบผิวของเม็ดดินเผาจะมีผิวที่ค่อนข้างแห้งขึ้น เมื่ออุณหภูมิเผาสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นจาก 900°C เป็น $1,100^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เมื่อเม็ดดินเผาถูกเผาถึงอุณหภูมิสูง ๆ ประมาณ 900°C ถึง $1,100^{\circ}\text{C}$ ก๊าซที่ระเหยออกจากเนื้อดิน จะก่อให้เกิดรูพรุนปิดและรูพรุนเปิดขึ้นภายในเนื้อดินและตามผิวของเม็ดดินเผาที่มีความหยาบ ยางแอสฟัลท์จึงสามารถยึดเกาะได้ดี เนื่องจากเพิ่มพื้นที่ผิวยึดเกาะมากขึ้น ยังผลให้ลดความเครียดระหว่างผิวทั้งสองเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ⁽⁴⁾ และในขณะที่ทำการผสมระหว่างเม็ดดินเผาและยางแอสฟัลท์ ได้ให้ความร้อนในการผสมด้วย เมื่ออุณหภูมิของส่วนผสมเย็นลง อากาศตามรูพรุนเปิดจะเกิดการหดตัว ยางแอสฟัลท์ที่เคลือบอยู่ตามผิวของเม็ดดินเผา จะถูกดูดเข้าไปในรูพรุนเปิด ทำให้การเคลือบผิวและการยึดเกาะของยางแอสฟัลท์ดีขึ้น นอกจากนี้ยางแอสฟัลท์ที่ถูกดูดเข้าไปในรูพรุนจะเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิการเผาสุดท้ายที่เพิ่มขึ้นจาก 900°C เป็น $1,100^{\circ}\text{C}$ ด้วย ยังผลให้เม็ดเผาที่มีผิวค่อนข้างแห้งขึ้นตามลำดับ เมื่อใช้ปริมาณยางแอสฟัลท์ในการผสมเท่ากัน ข) ส่วนการเคลือบผิวของเม็ดดินเผาแบบแห้ง (Dry Aggregate Coated) ด้วยยางแอสฟัลท์อีมีลชั่น เกรด CM-K และ SS-K ให้ค่าการเคลือบผิวมากกว่า 95% ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานของ ASTM และยังพบอีกว่าค่าการเคลือบผิวของเม็ดดินเผาจะมีผิวค่อนข้างแห้งขึ้น เมื่ออุณหภูมิการเผาสุดท้ายสูงขึ้น จาก 900°C เป็น $1,100^{\circ}\text{C}$ แต่ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 ให้ค่าการเคลือบผิวของเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 900°C มากกว่า 95% ส่วนเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิการเผาสุดท้าย $1,000^{\circ}\text{C}$ ถึง $1,100^{\circ}\text{C}$ มีค่าการเคลือบผิวน้อยมาก คือประมาณ 30% และ 10% ตามลำดับ ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เม็ดดินเผาเมื่อถูกเผาถึงอุณหภูมิสูงประมาณ 900°C ถึง $1,100^{\circ}\text{C}$ โครงสร้างของแร่ดินเหนียวและไม่ใช่แร่ดินเหนียวจะถูกทำลาย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นผลึกใหม่ เนื้อพรุนใส และปริมาตรผลึกใหม่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ยังผลให้ผิวของเม็ดดินเผามีความมันเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อนำเม็ดดินเผามาเคลือบด้วยยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 ผิวของเม็ดดินเผาจะค่อนข้างแห้งขึ้นตามอุณหภูมิการเผาสุดท้ายที่เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นนำเม็ดดินเผาที่เคลือบผิวด้วยยางแอสฟัลท์แล้ว ไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง ค่าการเคลือบผิวของเม็ดดินเผาจะลดลงตามอุณหภูมิการเผาสุดท้ายที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของเม็ดดินเผาและข้อกำหนดมาตรฐาน

เม็ดดินเผา		คุณสมบัติต่าง ๆ ที่ทดสอบ												
ที่อุณหภูมิเผา	ขนาด	ค่าความด่างจำเพาะ	ค่าการดูดซึมน้ำ, %	ค่าความสึกหรอ, %		ค่า PSV		ค่าดัชนีความแมน, %		ค่าการเคลือบผิวและการหลุดลอกแบบ, %				
				ผลการทดลอง	ข้อกำหนด	ผลการทดลอง	ข้อกำหนด	ผลการทดลอง	ข้อกำหนด	แห้ง			เป็ยก MC-250	ข้อกำหนด
										CM-K	MC-250	SS-K		
900 °ซ	$\frac{3}{4}$ นิ้ว	1.90	13.00	27.60	ไม่เกิน 40	60	ไม่เกิน 45	0	ไม่เกิน 30	>95	>95	-	>95	>95
	$\frac{1}{2}$ นิ้ว	1.89												
	$\frac{3}{8}$ นิ้ว	1.89												
1,000 °ซ	$\frac{3}{4}$ นิ้ว	1.67	15.10	27.30	ไม่เกิน 40	63	ไม่เกิน 45	0	ไม่เกิน 30	>95	=30	>95	>95	>95
	$\frac{1}{2}$ นิ้ว	1.66												
	$\frac{3}{8}$ นิ้ว	1.53												
1,100 °ซ	$\frac{3}{4}$ นิ้ว	1.37	18.30	27.00	ไม่เกิน 40	64	ไม่เกิน 45	0	ไม่เกิน 30	>95	=10	-	>95	>95
	$\frac{1}{2}$ นิ้ว	1.33												
	$\frac{3}{8}$ นิ้ว	1.28												

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของทราย หินฝุ่นและข้อกำหนดมาตรฐาน

คุณสมบัติที่ทดสอบ	ทราย	หินฝุ่น	ข้อกำหนด
ค่าความด่างจำเพาะ	2.60	2.76	-
ค่า Sand Equivalent, %	94	53	มากกว่า 35

เนื่องจากการเคลือบผิว เม็คคินเผาด้วยยางแอสฟัลท์ ไม่สามารถเคลือบได้ทั้งหมดคร้อยเปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อมีส่วนที่ไม่ถูกเคลือบผิว น้ำก็สามารถแทรกเข้าได้ทำให้มีวีสัมผัสระหว่าง เม็คคินเผาและยางแอสฟัลท์เกิดการหลุดลอกได้ง่ายขึ้น

จากผลการทดลองนี้ ได้ผลการทดลองคล้ายกับผลการทดลองของ Tyler⁽⁴⁾ ซึ่งพบว่า ตะกรันที่มีเนื้อแน่น จะให้ค่าความต้านทานหลุดลอกของยางแอสฟัลท์ได้ดีกว่าแบบหยาบ

4.1.2 คุณสมบัติของทรายและหินฝุ่น ทรายและหินฝุ่นที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมแอสฟัลท์ คิคคอนกรีตแบบผสม เป็นสำหรับงานวิจัยนี้ เป็นทรายและหินฝุ่นจากจังหวัดราชบุรี ซึ่งผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4.2

4.1.2.1 ค่าความถ่วงจำเพาะ จากผลการทดลองพบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของทรายและหินฝุ่น มีค่า 2.60 และ 2.76 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าเม็คคินเผา

4.1.2.2 ค่า Sand Equivalent จากผลการทดลองพบว่า ค่า Sand Equivalent ของทรายและหินฝุ่นมีค่า 94% และ 53% ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานของกรมทางหลวง

4.2 ผลการทดลองคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์ชนิดเหลว ในการวิจัยนี้ ได้ใช้ยางแอสฟัลท์อีมีลชนิดเกรด CM-K และ SS-K กับยางคัทแม็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน เพื่อใช้สำหรับส่วนผสมแอสฟัลท์คิคคอนกรีตแบบผสม และได้มีการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ พบว่ายางแอสฟัลท์ เกรดต่าง ๆ ดังกล่าว มีคุณสมบัติอยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานของ ASTM หรือ AASHTO ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.3 นอกจากนี้ผลการทดลองยังได้มีการเปรียบเทียบคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์ เกรดต่าง ๆ ดังนี้

4.2.1 การแยกชั้น หลังจาก 7 วัน (Settlement 7 days) ได้ทดลองเฉพาะยางแอสฟัลท์ เกรด CM-K และ SS-K เท่านั้น ส่วนยางแอสฟัลท์ เกรด MC-250 ไม่ต้องทดสอบ เนื่องจาก ยางเกรด MC-250 ไม่มีส่วนประกอบของน้ำจึงไม่มีผลต่อการคกตะกอนของยางแอสฟัลท์ การทดสอบนี้เป็นการหาอัตราส่วนของการคกตะกอนกับเวลา เพื่อหาระยะเวลาที่เก็บไว้ใช้งานที่เหมาะสม จากผลการทดลองพบว่า ยางเกรด CM-K มีการคกตะกอนน้อยกว่ายางเกรด SS-K ประมาณ 6.20 เท่า ซึ่งแสดงว่ายาง เกรด CM-K สามารถเก็บไว้ได้นานกว่า

4.2.2 การทดสอบการจับตัวของยางแอสฟัลท์โดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Test) สำหรับยางแอสฟัลท์ เกรด MC-250 ไม่ได้ทดสอบ เพราะว่า ยาง เกรด MC-250 ในส่วนผสมประกอบด้วยยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ละลายในน้ำมันก๊าดที่ใช้ผสม ส่วนยาง เกรด CM-K และ SS-K ในส่วนผสมประกอบด้วยยางแอสฟัลท์ซีเมนต์และน้ำ ซึ่งยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ไม่สามารถละลายในน้ำได้หมด จึงมีบางส่วนจับตัวเป็นก้อน ยังผลให้คุณสมบัติบางประการของยางแอสฟัลท์อีมีลขึ้นเสียไปได้ เมื่อนำมาทดสอบร่อนผ่านตะแกรง พบว่า ปริมาณยางแอสฟัลท์ที่ค้างบนตะแกรงอยู่ในข้อกำหนดมาตรฐาน

4.2.3 ค่า Penetration ที่ 25^oC เป็นการทดสอบความอ่อนแข็งของยางแอสฟัลท์ ถ้ายางแอสฟัลท์มีความแข็งค่า Penetration จะต่ำ ในทางกลับกันถ้ายางแอสฟัลท์มีความอ่อนมาก ค่า Penetration จะสูงด้วย จากผลการทดลองพบว่า ยางแอสฟัลท์ เกรด SS-K เนื้อยางล้วน (Residue) มีความแข็งที่สุด ซึ่งแข็งกว่ายางแอสฟัลท์ เกรด CM-K และ SS-K ตามลำดับ

4.2.4 ค่า Ductility ที่ 25^oC เป็นการทดสอบคุณสมบัติการดึงยืดของยางแอสฟัลท์ ถ้ายางแอสฟัลท์มีความเหนียวมากก็จะมีค่า Ductility สูงด้วย ซึ่งมีผลต่อการยึดเกาะและจับตัวของยางแอสฟัลท์กับผิววัสดุรวม จากผลการทดลอง พบว่า ยางแอสฟัลท์ทั้ง 3 เกรด ให้ค่า Ductility คือว่าข้อกำหนดมาตรฐาน

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์ชนิดเหลว เกรดต่าง ๆ และข้อกำหนดมาตรฐานของ ASTM หรือ AASHO

ลำดับที่	คุณสมบัติที่ทดลอง	เกรด CM-K		เกรด MC-250		เกรด SS-K	
		ข้อกำหนด	ผลการทดลอง	ข้อกำหนด	ผลการทดลอง	ข้อกำหนด	ผลการทดลอง
1.	Furol Viscosity at 25 °C, sec	-	-	-	-	20-100	53.33
2.	Furol Viscosity at 50 °C, sec	50-500	116.0	-	-	-	-
3.	Kinematic Viscosity at 60 °C, cst	-	-	250-500	360	-	-
4.	Settlement 7 Days, % wt	5Max	0.40	-	-	5Max	2.47
5.	Sieve Test (Ret on No.20 mesh), % wt	0.10Max	0.074	-	-	0.10Max	0.013
6.	Cement Mixing Test, % wt	-	-	-	-	2.0Max	1.33
7.	pH	-	-	-	-	6.7Max	1.2
8.	Residue From Distillation, % wt To 225 °C	-	-	10Max	2.17	-	-
	To 260 °C	65.Min	67.50	15-55	36.95	57.Min	62.10
	To 315 °C	-	-	60-84	76.08	-	-
	To 360 °C	-	-	67Min	77.0	-	-
	Oil Distillate	12.0Max	1.5	-	-	-	-
9.	Penetration at 25 °C, 100 gm, sec	100-250	196.0	120-250	170	60-140	100.3
10.	Solubility in Solution, % wt	97.0Min	99.80	99.0Min	99.88	97.0Min	99.67
11.	Ductility at 25 °C, cm	40Min	Over 40.0	100Min	Over 100	40Min	Over 40
12.	Flash Point (Open Tag), °C	-	-	66Min	75	-	-
13.	Aggregate Coating-Water Resistance						
	Dry Aggregate (Job), % Coated	80.0Min	85.0	-	-	-	-
	Wet Aggregate (Job), % Coated	60.0Min	80.0	-	-	-	-
14.	Particle Charge Test	Postive	Positive	-	-	-	-

4.3 ผลการทดลองแอสฟัลต์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น ในการวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองแอสฟัลต์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น โดยวิธีมาร์แชล ตามมาตรฐานของ ILLINOIS⁽²¹⁾ ซึ่งได้กำหนดให้ทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม และผลของการทดสอบจะ เปรียบเทียบในแง่แอมค่าต่าง ๆ ทั้งชนิดของยางแอสฟัลต์ และวัสดุมวลรวมหยาบที่นำมาใช้งาน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

4.3.1 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ใช้มวลรวม เม็ดดิน เเผาะที่มีอุณหภูมิ เผลสุดท้ายต่าง ๆ โดยมียางแอสฟัลต์ เกรดต่าง ๆ เป็นยางประสาน

เม็ดดินเเผาะที่นำมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบ จะใช้เม็ดดินเเผาะที่มีอุณหภูมิ เผลสุดท้าย 900°ซ 1,000°ซ และ 1,100°ซ กับยางแอสฟัลต์ เกรด CM-K และ MC-250 เป็นยางประสาน ส่วนยางแอสฟัลต์ เกรด SS-K จะใช้เป็นยางประสานเฉพาะ เม็ดดินเเผาะที่มีอุณหภูมิเผลสุดท้าย 1,000°ซ เท่านั้น ซึ่งผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.1 รูปที่ 4.2 รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4

4.3.1.1 เสถียรภาพในกรณีแช่น้ำ (Soaked Stability) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้มวลรวมหยาบเม็ดดินเเผาะที่มีอุณหภูมิเผลสุดท้าย 1,000°ซ จะให้ผลของค่าเสถียรภาพในกรณีแช่น้ำดีที่สุด เมื่อเทียบกับมวลรวมเม็ดดินเเผาะที่มีอุณหภูมิเผลสุดท้าย 900°ซ และ 1,100°ซ โดยมีแอสฟัลต์ เกรด MC-250 CM-K และ SS-K เป็นยางประสาน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าค่าเสถียรภาพในกรณีแช่น้ำที่มียางแอสฟัลต์ เกรด MC-250 ให้ผลสูงที่สุดมากกว่ายางเกรด SS-K และ CM-K เป็น 1.15 เท่าและ 1.18 เท่าตามลำดับ และยังมีค่ามากกว่า 500 ปอนด์ ซึ่งเป็นข้อกำหนดมาตรฐานของ ILLINOIS ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบสภาพความต้านทานการจราจรในฤดูฝนหรือสภาพถนนที่มีน้ำท่วมขัง

4.3.1.2 ช่องว่างอากาศทั้งหมด (Total Voids) จากผลการทดลอง พบว่ามวลรวมเม็ดดินเเผาะที่มีอุณหภูมิเผลสุดท้าย 1,000°ซ เมื่อใช้เป็นส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น จะมีช่องว่างอากาศทั้งหมดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมวลรวมเม็ดดินเเผาะที่มีอุณหภูมิเผลสุดท้าย 900°ซ และ 1,100°ซ โดยมียางแอสฟัลต์ เกรด MC-250 CM-K และ SS-K เป็นยางประสาน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อใช้ยางเกรด MC-250 ให้ผลของช่องว่างอากาศทั้งหมดน้อยที่สุดและน้อยกว่าเมื่อใช้ยางเกรด CM-K และ SS-K เป็น 3.39 เท่าและ 6.89 เท่าตามลำดับ และยังพบต่ออีกว่าเมื่อใช้มวลรวมเม็ดดินเเผาะที่ไม่ใช้อุณหภูมิเผลสุดท้าย 1,000°ซ โดยมียางแอสฟัลต์เกรด CM-K และ MC-250

เป็นยางประสาน จะให้ผลของช่องว่างอากาศทั้งหมดมากกว่าข้อกำหนดมาตรฐาน ซึ่งข้อกำหนดมาตรฐานของ ILLINOIS ได้แนะนำให้ช่องว่างอากาศทั้งหมดมีอยู่ในช่วง 2%-8% ทั้งนี้ช่องว่างอากาศทั้งหมด ถ้ามากไปจะส่งผลต่อการดูดซึมน้ำและการยุบตัวของส่วนผสมลาดยางอีกด้วย ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการเย็บของยางแอสฟัลท์ (Bleeding) ได้และยังเป็นการสิ้นเปลืองปริมาณเนื้อยางในส่วนผสมอีกด้วย

4.3.1.3 การสูญเสียค่าเสถียรภาพ (Stability Loss) จากผลการทดลอง พบว่า มวลรวมเม็ดดินเผาทั้ง 3 ชนิด คือ 900^oซ 1,000^oซ และ 1,100^oซ โดยมียางแอสฟัลท์เกรด MC-250 CM-K และ SS-K เป็นยางประสาน ให้ค่าการสูญเสียเสถียรภาพต่ำกว่าข้อกำหนดมาตรฐาน ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานของ ILLINOIS นอกจากนี้ยังพบอีกว่า เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000^oซ ที่ใช้ยางแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสานให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด คือมีการสูญเสียค่าเสถียรภาพค่าที่ต่ำที่สุดและต่ำกว่าเมื่อใช้ยางแอสฟัลท์ เกรด CM-K และ SS-K เป็น 2.34 เท่าและ 2.48 เท่าตามลำดับ ซึ่งค่าการสูญเสียค่าเสถียรภาพยังบ่งบอกถึงความไวต่อการดูดซึมน้ำของมวลรวมเม็ดดินเผา ทั้งยังส่งผลต่อการอ่อนตัวของส่วนผสมลาดยางของถนนที่อยู่ในสภาพแช่น้ำอีกด้วย

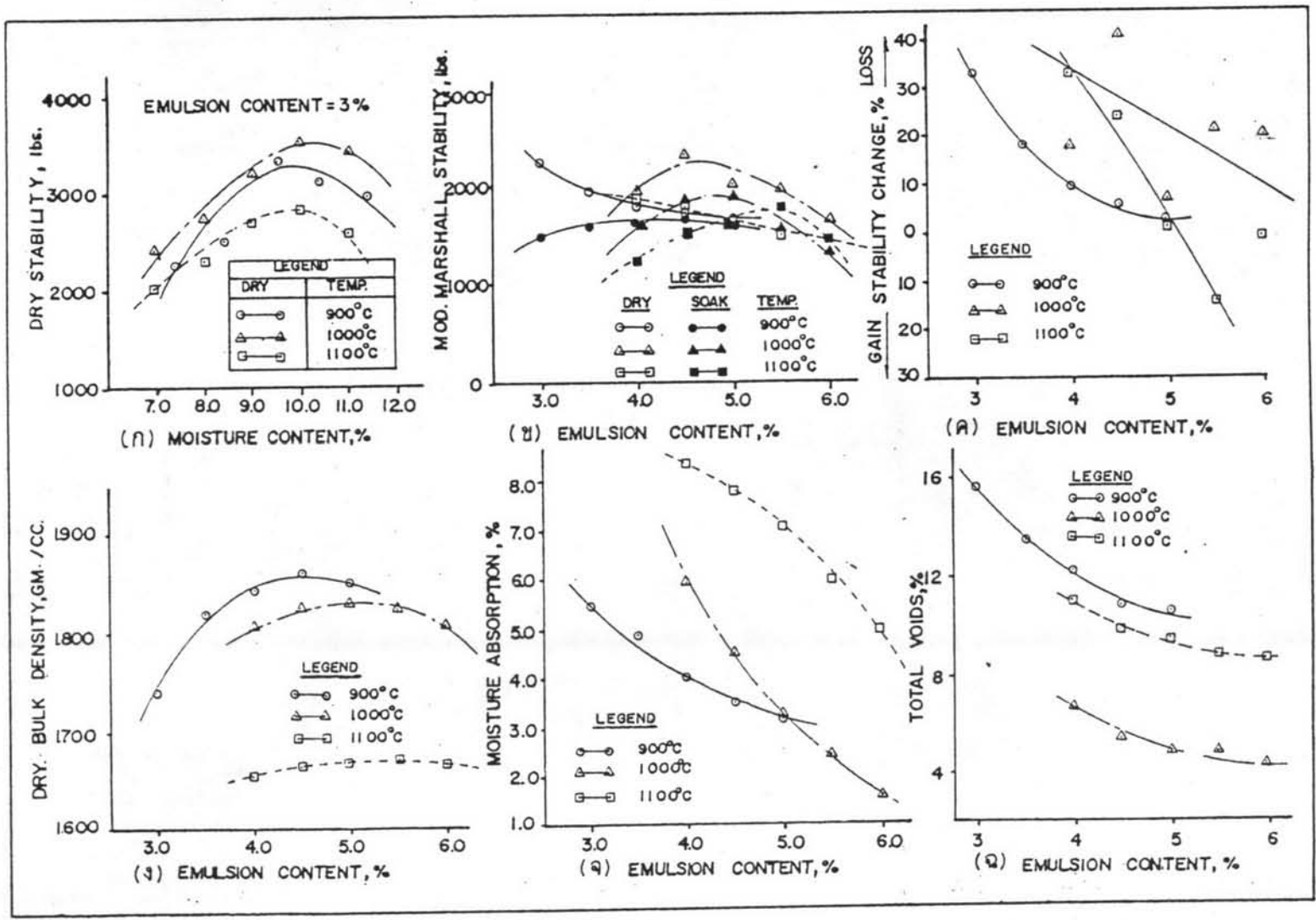
4.3.1.4 การดูดซึมน้ำ (Moisture Absorption) จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อใช้มวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000^oซ โดยมียางแอสฟัลท์ เกรด MC-250 และ CM-K เป็นยางประสาน มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดมาตรฐาน ILLINOIS และเมื่อใช้ยางแอสฟัลท์ เกรด CM-K เป็นยางประสาน จะให้ค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าใช้ยาง เกรด MC-250 เล็กน้อย ส่วนยางเกรด SS-K ให้ค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าข้อกำหนดมาตรฐาน และมีแนวโน้มว่า ถ้าใช้เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้ายสูงขึ้นจะให้ผลการดูดซึมน้ำมากขึ้นด้วย สำหรับยางแอสฟัลท์ทั้งสามเกรดที่ใช้เป็นยางประสาน

4.3.1.5 ความหนาแน่นรวมแห้ง (Dry Bulk Density) จากผลการทดลองพบว่า ถ้าใช้มวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้ายเพิ่มขึ้นจาก 900^oซ เป็น 1,100^oซ จะให้ผลของความหนาแน่นรวมลดต่ำลง และถ้าใช้ยางแอสฟัลท์เกรด MC-250 เป็นยางประสาน จะให้ความหนาแน่นสูงที่สุดมากกว่าเมื่อใช้ยางแอสฟัลท์ เกรด CM-K และ SS-K ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ผลของความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวม ปริมาณเนื้อยางแอสฟัลท์ที่ใช้และการ

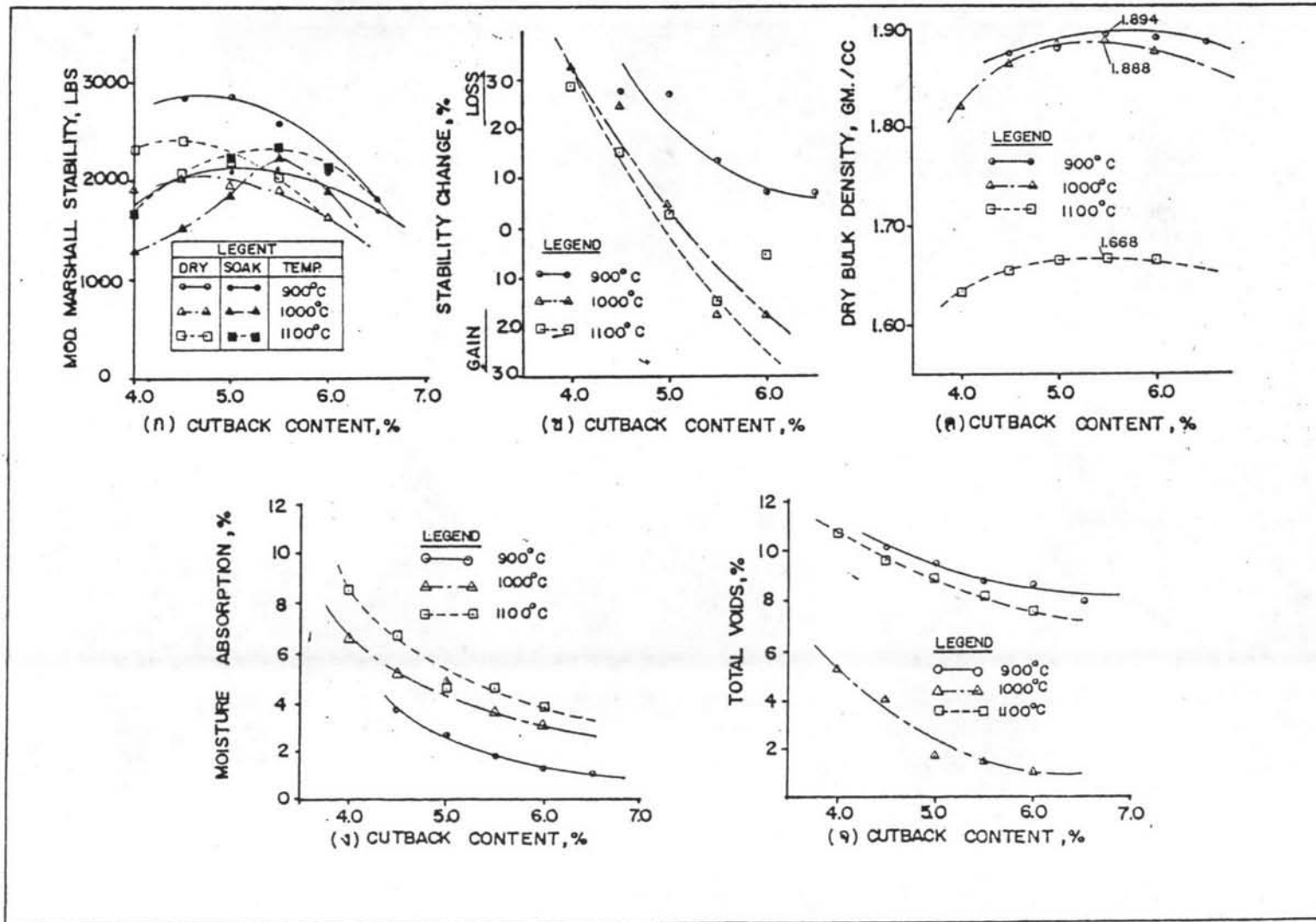
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการทดลองแอสฟัลต์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นโดยใช้เม็ดดินเผาเป็นวัสดุมวลรวมหายาบ และยางแอสฟัลท์ชนิดเหลว เกรดต่าง ๆ เป็นยางประสาน

ลำดับที่	คุณสมบัติทดสอบ	ข้อกำหนดคุณสมบัติ	เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิการเผาสุดท้ายต่าง ๆ °C						
			ยางคัทแม็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250			ยางแอสฟัลท์อีมีดชั่น			
			900	1,000	1,100	เกรด CM-5			เกรด SS-K
						900	1,000	1,100	1,000
1.	เสถียรภาพใบกรวดในน้ำ, ปอนด์	ค่าสุด 500	2,239	2,240	2,343	1,668	1,898	1,771	1,940
2.	ช่องว่างอากาศทั้งหมด, %	2-8	8.7265	1.4601	8.17	10.8415	4.9457	8.8241	10.0571
3.	การสูญเสียค่าเสถียรภาพ, %	สูงสุด 50	13.4185	-17.43	-15.10	5.33	23.30	-14.47	25.81
4.	การดูดซึมน้ำ, %	สูงสุด 4	1.8114	3.6567	4.6633	3.5278	3.2753	5.9992	6.3266
5.	ความหนาแน่นรวมแห้งสูงสุด กรัมต่อ ลบ.ซม	-	1.8940	1.8876	1.6684	1.8622	1.8303	1.6737	1.7310
6.	ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ ในการบดอัด, %	-	-	-	-	9.5	10.0	10.0	12.0
7.	ปริมาณเนื้อยางที่เหมาะสมที่สุด	-	4.235	4.235	4.235	3.0375	3.375	3.7125	3.4155

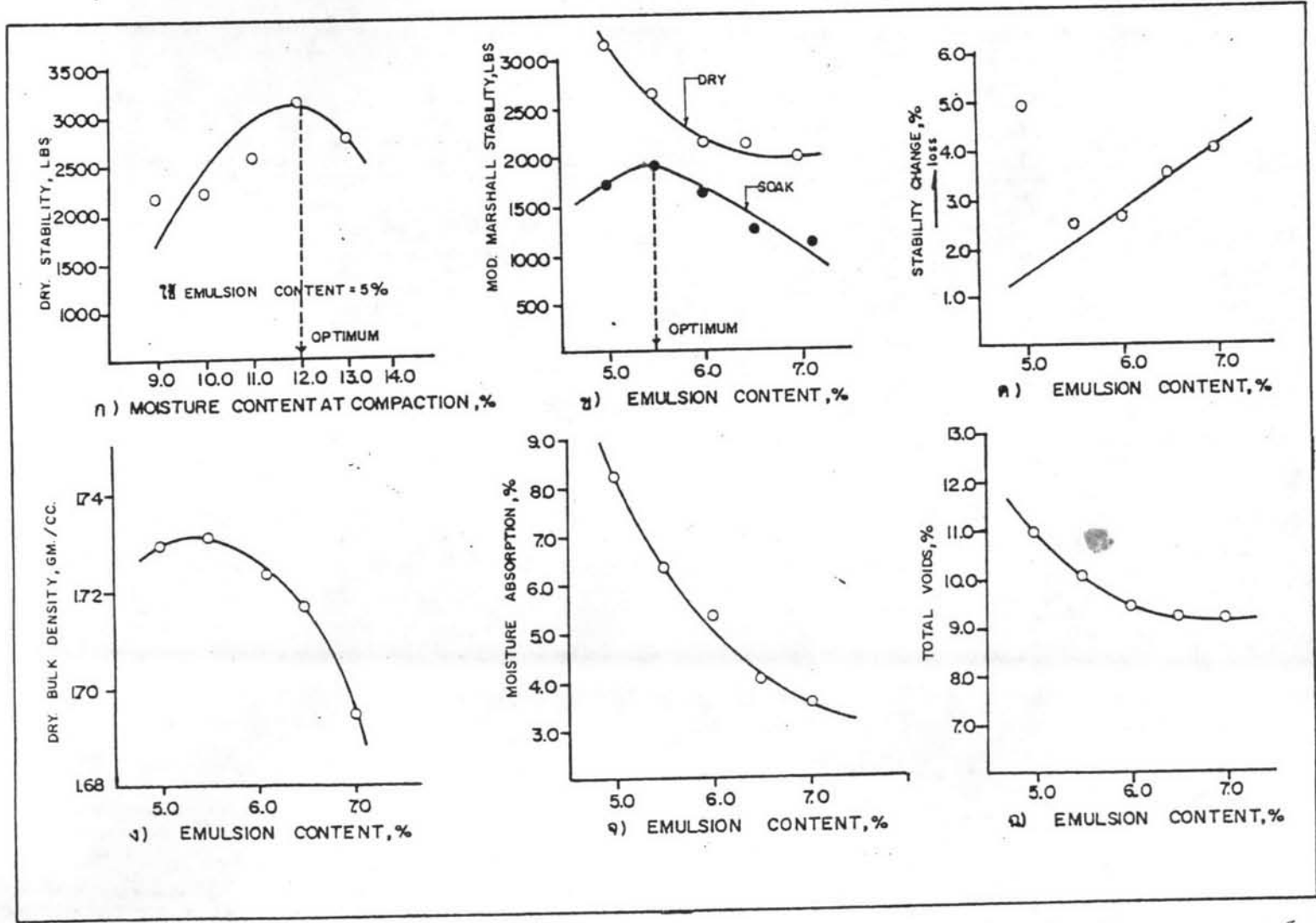
กรมการขนส่งทางบก
 กองการขนส่งทางบก
 ฝ่ายวิศวกรรมจราจร



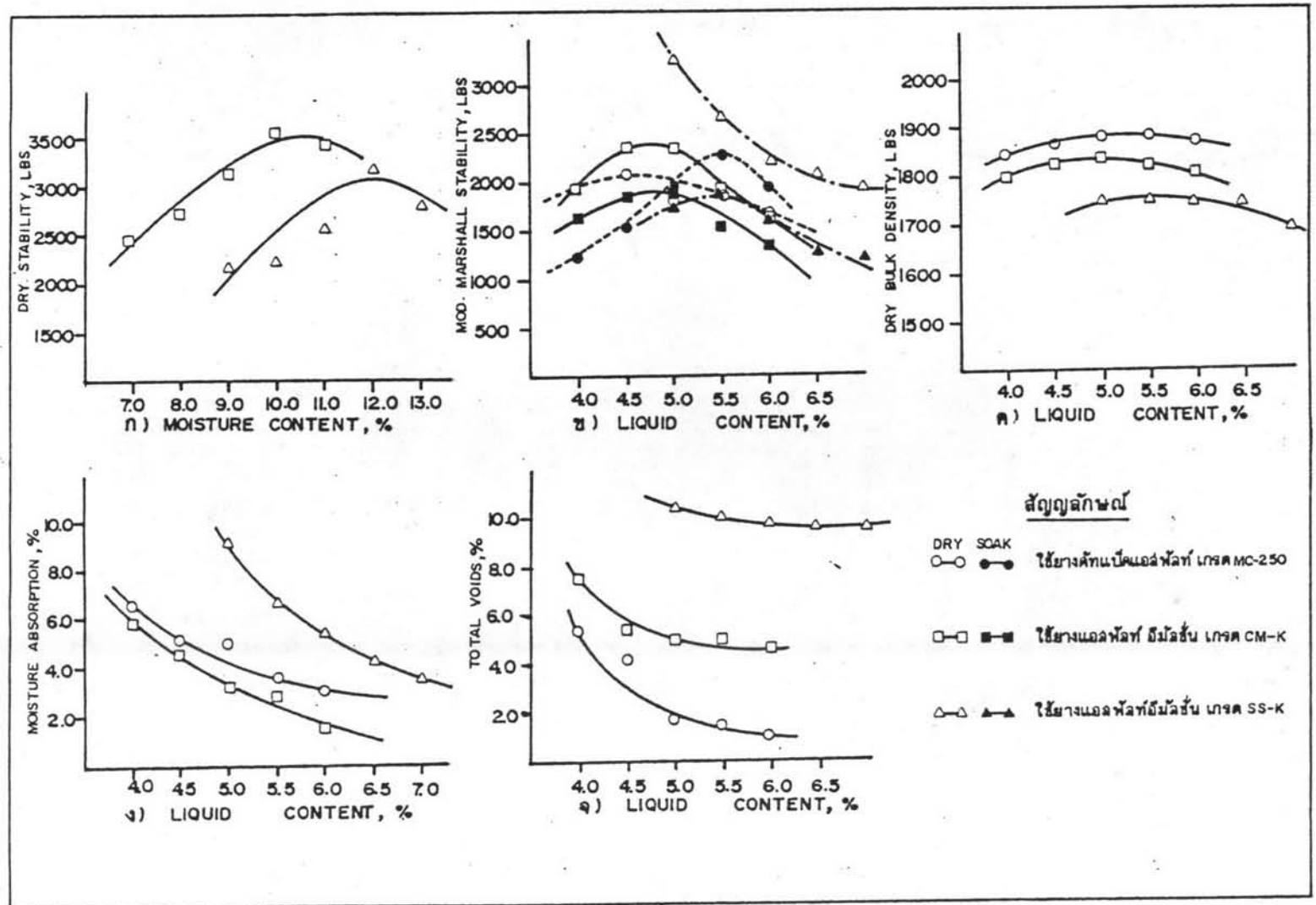
รูปที่ 4.1 ผลการทดลองแบบผสมเย็นโดยมียางแอสฟัลท์อีมีลชั่น เกรด CM-K เป็นยางประสานกับมวลรวม เบ็ดดินเผาซึ่งเผาที่อุณหภูมิสุดท้ายต่าง ๆ



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองแบบผสมเย็นโดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสานกับมวลรวมเม็ดดินเผาซึ่งเผาที่อุณหภูมิสุดท้ายต่าง ๆ



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองแบบผสมเย็นของมวลรวมเม็ดดินเหนียวที่อุณหภูมิเหมาะสมที่สุดท้าย 1,000°ซ โดยมียางแอสฟัลท์อิมัลชัน เกรด SS-K เป็นยางประสาน.



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการทดลองแบบผสมเย็น ของมวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000^oซ โดยมียางแอสฟัลท์เกรดต่าง ๆ เป็นยางประสาน

อัดตัวของวัสดุมวลรวม หนึ่งเมื่อใช้ยางแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน มวลรวม เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย $1,000^{\circ}\text{C}$ จะให้ผลของความหนาแน่นรวมแห้งค่อนข้างสูง

4.3.1.6 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการบดอัด (Optimum Moisture Content) เนื่องจากยางแอสฟัลท์ เกรด MC-250 ไม่ต้องใช้น้ำเป็นส่วนประกอบในการบดอัด ในการศึกษาครั้งนี้จึงศึกษาเฉพาะยางแอสฟัลท์ เกรด CM-K และ SS-K เท่านั้น จากการทดลอง พบว่า ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการบดอัดใกล้เคียงกัน คือประมาณ 9.5%-12%

4.3.1.7 ปริมาณเนื้อยางที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Residual Content) จากการทดลองพบว่า ปริมาณเนื้อยางที่เหมาะสมที่สุด เมื่อใช้กับมวลรวม เม็ดดินเผาที่เผาที่อุณหภูมิ เผาสุดท้ายเพิ่มขึ้นจาก 900°C เป็น $1,100^{\circ}\text{C}$ จะมีแนวโน้มในการใช้เนื้อยางแอสฟัลท์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่า เม็ดดินเผาที่มีความพรุนและพื้นที่ผิวมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิเผาสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้น และยัง พบอีกว่า ปริมาณเนื้อยางแอสฟัลท์จะใช้มากขึ้นเมื่อใช้ยางแอสฟัลท์ เกรด CM-K SS-K และ MC-250 เป็นยางประสาน ทั้งนี้เนื่องจากว่ายางแอสฟัลท์ เกรด MC-250 มีความหนืดสูงที่สุด ทำให้เปอร์เซ็นต์การเคลือบผิว น้อยลง จึงต้องใช้เนื้อยางแอสฟัลท์ในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งปริมาณเนื้อยาง แอสฟัลท์มีผลต่อการเคลือบผิวและการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณเนื้อยาง แอสฟัลท์ เกรด MC-250 ที่ใช้สูงขึ้นนั้นก็ไม่น่ามากนัก คือมากกว่าเมื่อใช้ยางเกรด CM-K และ SS-K ไม่เกิน 21.0% อนึ่งการใช้ยางเกรด MC-250 กับมวลรวม เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผา สุดท้าย $1,000^{\circ}\text{C}$ ถึงแม้ว่าจะใช้ปริมาณเนื้อยางที่สูงกว่า แต่ก็ให้ผลในเรื่องค่าเสถียรภาพ การดูดซึมน้ำหรือช่องว่างอากาศทั้งหมดที่ดีกว่า จึงเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้งาน

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองแอสฟัลท์ดิกคอนกรีตแบบผสม เย็น สามารถสรุปได้ว่ามวลรวม เม็ดดินเผาอุณหภูมิเผาสุดท้าย $1,000^{\circ}\text{C}$ จะให้ผลของการทดลอง ดีที่สุด เมื่อเทียบกับเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 900°C และ $1,100^{\circ}\text{C}$ โดยมียางแอสฟัลท์ ชนิด เหลว เกรด MC-250 CM-K และ SS-K เป็นยางประสาน

4.3.2 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ใช้มวลรวม เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย $1,000^{\circ}\text{C}$ กับหินปูน กรวด จากแหล่งต่าง ๆ โดยมียางแอสฟัลท์ชนิด เหลว เกรดต่าง ๆ เป็นยาง ประสาน และ เพื่อให้การวิจัยนี้ได้ผลของข้อสรุปที่ดีที่สุด จึงได้นำผลการทดลองแอสฟัลท์ดิกคอนกรีต แบบผสมเย็น ที่ใช้มวลรวมหยาบ เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย $1,000^{\circ}\text{C}$ โดยมียางแอสฟัลท์ ชนิด เหลว เกรด MC-250 CM-K และ SS-K เป็นยางประสาน มาเปรียบเทียบกับผลการ

ทดลองที่ได้ทำการศึกษามาแล้วในอดีต ที่ใช้มวลรวมหินปูนหรือกรวดเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ โดยมียางแอสฟัลท์ชนิดเหลว เกรดต่าง ๆ เป็นยางประสาน และผลการทดลองได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 4.5-รูปที่ 4.5 รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

4.3.2.1 เสถียรภาพในกรณีแช่น้ำ (Soaked Stability) จากผลการศึกษาทดลอง พบว่า การใช้มวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย $1,000^{\circ}\text{C}$ โดยมียางแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน จะให้ผลสูงที่สุด มากกว่ายางเกรด SS-K CM-K และ SS-K (ที่ใช้มวลรวมหินปูน) เล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบอีกว่า มวลรวมเม็ดดินเผาที่ใช้ยางแอสฟัลท์ เกรด MC-250 CM-K และ SS-K ให้ผลสูงกว่าการใช้หินย่อยกับยางเกรด MS-2 HFMS-2 RC-30 หรือไพรมเมอร์ ตามลำดับ ส่วนผลที่น้อยที่สุดเมื่อใช้มวลรวมกรวดกับยางเกรด HFE-300 และกรวดที่มาจาก Bond County Pit-Run เท่านั้นที่ให้ผลพอสมควร

การใช้มวลรวมเม็ดดินเผาให้ผลดีที่สุด ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เม็ดดินเผาเป็นมวลรวมที่มีความพรุน ผิวขรุขระ และยังมีขนาด รูปร่างที่เหมาะสมด้วย คือ มีเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวใกล้เคียงกัน เมื่อนำไปใช้เป็นวัสดุมวลรวมในส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น จึงให้คุณสมบัติในการขัดกันระหว่างมวลรวม การยึดเกาะกับยางแอสฟัลท์ โมเมนต์ของความเฉื่อย (Moment of Inertia) ที่ดีกว่ามวลรวมหินปูน หรือกรวด ซึ่งมีความแบน ความยาวไม่แน่นอน และยังมีผิวเรียบอีกด้วย จึงส่งผลให้การใช้มวลรวมเม็ดดินเผาให้ค่าเสถียรภาพสูงกว่าการใช้มวลรวมหินปูนหรือกรวด

ผลการทดลองนี้คล้ายกับผลการทดลองของ M. Livneh และ J. Greenstein⁽⁴⁶⁾ ซึ่งพบว่า ส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรูปลูกบาศก์ (Cubical) จะให้คุณสมบัติในการขัดกันระหว่างมวลรวม โมเมนต์ของความเฉื่อยที่ดีกว่า ส่งผลให้ค่าเสถียรภาพมาร์แชล ความหนาแน่น มีค่าสูงกว่าการใช้มวลรวมเป็นแผ่นเกล็ด (Flaky) ทั้งวัสดุมวลรวมที่มีการเรียงขนาดแน่น (Dense-Grade) และการเรียงขนาดโปร่ง (Open-Grade)

4.3.2.2 ช่องว่างอากาศทั้งหมด (Total Voids) จากผลการศึกษาพบว่า การใช้มวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย $1,000^{\circ}\text{C}$ กับยางแอสฟัลท์ เกรด MC-250 ให้ผลน้อยที่สุดและน้อยกว่าการใช้ยางเกรด CM-K และ SS-K ส่วนการใช้มวลรวมหินย่อยโดยมียางเกรด HFE-300 RC-30 และไพรมเมอร์เป็นยางประสาน ให้ผล

ใกล้เคียงกันแต่ยังน้อยกว่าการใช้ยาง HFMS-2 MS-2 และ SS-K ซึ่งให้ผลของช่องว่างอากาศทั้งหมดมากที่สุดและเกินขีดมาตรฐานกำหนดด้วย การที่ส่วนผสมมีช่องว่างอากาศทั้งหมดเกินขีดกำหนด จะส่งผลต่อการดูดซึมน้ำ การยุบตัวของส่วนผสมและยังทำให้ใช้ปริมาณเนื้อยางแอสฟัลท์มาก เป็นการสิ้นเปลืองอีกด้วย

4.3.2.3 การดูดซึมน้ำ (Moisture Absorption) จากผลการศึกษาพบว่า ค่าการดูดซึมน้ำจะน้อยลงเมื่อมีปริมาณยางแอสฟัลท์ในส่วนผสมมากขึ้น การใช้มวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย $1,000^{\circ}\text{C}$ กับยางแอสฟัลท์ เกรด CM-K MC-250 และ SS-K ให้ผลมากกว่าการใช้มวลรวมหินปูนหรือกรวดกับยางแอสฟัลท์เกรดต่าง ๆ ด้วย นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การใช้มวลรวมเม็ดดินเผาทั้งยางแอสฟัลท์ เกรด CM-K และ MC-250 จะให้ผลใกล้เคียงกันและมากกว่าการใช้มวลรวมหินปูนหรือกรวดกับยางแอสฟัลท์ เกรด HFE-300 SS-K MS-2 HFMS-2 ตามลำดับ และยางแอสฟัลท์เกรด MS-2 HFMS-2 ให้ผลน้อยที่สุด ส่วนการใช้เม็ดดินเผาทั้งยางแอสฟัลท์ เกรด SS-K ให้ผลการดูดซึมน้ำมากกว่าข้อกำหนดมาตรฐานและยังมากที่สุดด้วย ซึ่งจะส่งผลให้มวลรวมมีโอกาสเกิดการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์ได้ง่ายกว่า ดังนั้นการใช้เม็ดดินเผาเป็นมวลรวมขยายในส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น จึงมีโอกาสเกิดการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์ได้ง่ายกว่าการใช้มวลรวมหินปูนหรือกรวด ทั้งนี้อธิบายได้ว่าเม็ดดินเผาเป็นมวลรวมที่มีความพรุนและมีรูขุมระ เมื่อนำไปผสมกับยางแอสฟัลท์เพื่อใช้เป็นส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น ยางแอสฟัลท์ไม่สามารถเคลือบผิวมวลรวมได้ทั้งหมด น้ำจึงสามารถแทรกเข้าสู่ส่วนที่ยังไม่เคลือบได้ และน้ำจะแทรกซึมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้จุดสัมผัสระหว่างผิวมวลรวมเม็ดดินเผาทั้งยางแอสฟัลท์เกิดการอ่อนตัว ยิ่งนำไปใช้เป็นส่วนผสมที่มีน้ำท่วมถึง จะเกิดแรงดันของน้ำได้มีทิศทางภายในส่วนผสมอันเกิดจากการกระทำของน้ำหนักยกวดยานที่วิ่งผ่านไปมาด้วย จึงเป็นการเร่งอัตราให้เกิดการหลุดลอกได้เร็วยิ่งขึ้น

จากผลการทดลองนี้ ได้ผลการทดลองคล้ายกับผลการทดลองของพงษ์ศักดิ์ อโณทัยไพบูลย์⁽⁴⁰⁾ ซึ่งพบว่า เม็ดดินเผาเมื่ออยู่ในแอสฟัลท์ติกคอนกรีต จะเกิดการหลุดลอกมากกว่าหินปูน ทั้งนี้ เพราะการแตกตัวของเม็ดดินเผาอันเนื่องจากการบดอัด การแตกของแผ่นยางแอสฟัลท์ และการเคลือบผิวที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้ไม่สามารถแทรกอยู่ระหว่างผิวสัมผัสระหว่างยางแอสฟัลท์กับผิวเม็ดดินเผาได้ และยังพบอีกว่า แรงดันของน้ำอันเกิดจากน้ำหนักยกวดยาน ทำให้เกิดการหลุดลอกเร็วขึ้นด้วย

4.3.2.4 ความหนาแน่นรวมแห้ง (Dry Bulk Density) จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้มวลรวมธรรมชาติ หินปูนหรือกรวดกับยางแอสฟัลท์ เกรดต่าง ๆ จะให้ผลใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 2.20 - 2.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ถ้าใช้มวลเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000^oซ กับยางแอสฟัลท์ เกรด SS-K CM-K และ MC-250 จะให้ผลใกล้เคียงกันด้วย คือ ประมาณ 1.7-1.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งให้ผลน้อยกว่ามวลรวมหินปูนหรือกรวด ประมาณ 1.2 เท่า

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการทดลองแอสฟัลต์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นโดยใช้เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000 °ซ เป็นวัสดุมวลรวมหยาบกับหินปูน กรวด จากแหล่งวัสดุต่าง ๆ

ลำดับที่	คุณสมบัติที่ทดสอบ	เม็ดดินเผาซึ่งเผาที่ 1,000 °ซ			วัสดุมวลรวม จากแหล่งต่าง ๆ									
		CM-K	MC-250	SS-K	(a) HPE-300	(b) HPE-300	(c) HFP-300	(d) MS-2	(e) HFMS-2	(f) RC-30	(g) Gulf Primer	(h) SS-K	(i) SS-K	(j) SS-K
1.	เสถียรภาพในการฉีบน้ำปูนค้, สูงสุด	1,898	2,240	1,940	1,050	480	540	1,629	1,385	ไม่ฉีบน้ำ	ไม่ฉีบน้ำ	900	1,850	1,850
2.	ช่องว่างอากาศทั้งหมด, %	4.9457	1.4601	10.0571	7.60	8.40	8.70	9.990	9.350	4.00	4.10	11.60	9.40	11.50
3.	การดูดซับน้ำเสถียรภาพ, %	23.30	17.4306	25.81	5.00	33.30	57.00	-4.50	0.00	-	-	40.00	8.42	12.80
4.	การดูดซับน้ำ, %	3.2753	3.8567	6.3266	2.20	2.50	3.60	1.914	1.573	-	-	2.250	1.600	2.00
5.	ความหนาแน่นรวมแห้ง, กรัมต่อ ลบ.ซม	1.8303	1.8876	1.7310	2.2486	2.380	2.285	2.260	2.276	2.340	2.350	2.224	2.260	2.255
6.	ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการบดค้, %	10.00	-	12.00	4.00	2.40	4.00	2.75	3.00	-	-	4.30	6.40	6.40
7.	ปริมาณเนื้อยางที่เหมาะสมที่สุด, %	3.375	4.235	3.4155	4.00	3.50	5.00	4.00	4.00	5x0.65 = 3.25	5x0.60 = 3.00	4.20	4.20	3.70

a) หินปูนบดขยี้จาก LEE PIT⁽²¹⁾

b) กรวดจาก CLARK COUNTY, ILLINOIS⁽³⁰⁾

c) BOND COUNTY PIT-RUN GRAVEL⁽³⁸⁾

d) หินปูนจากสระบุรี⁽⁴³⁾

e) หินปูนจากสระบุรี⁽⁴³⁾

f) หินขยี้จาก CFS Alert⁽⁴²⁾

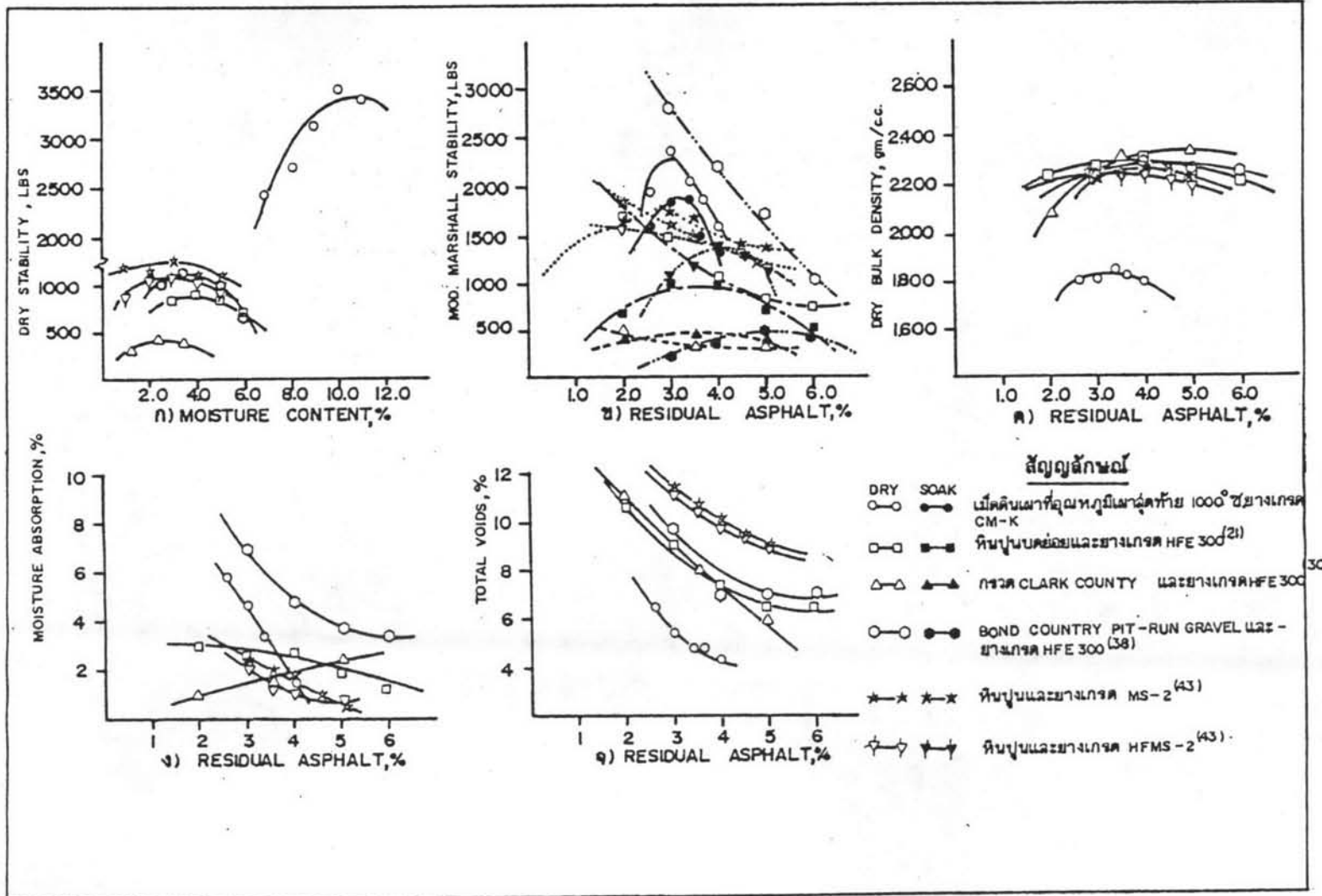
g) หินขยี้จาก CFS Alert⁽⁴²⁾

h) หินปูนจากโรงไม่หน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี⁽¹⁶⁾

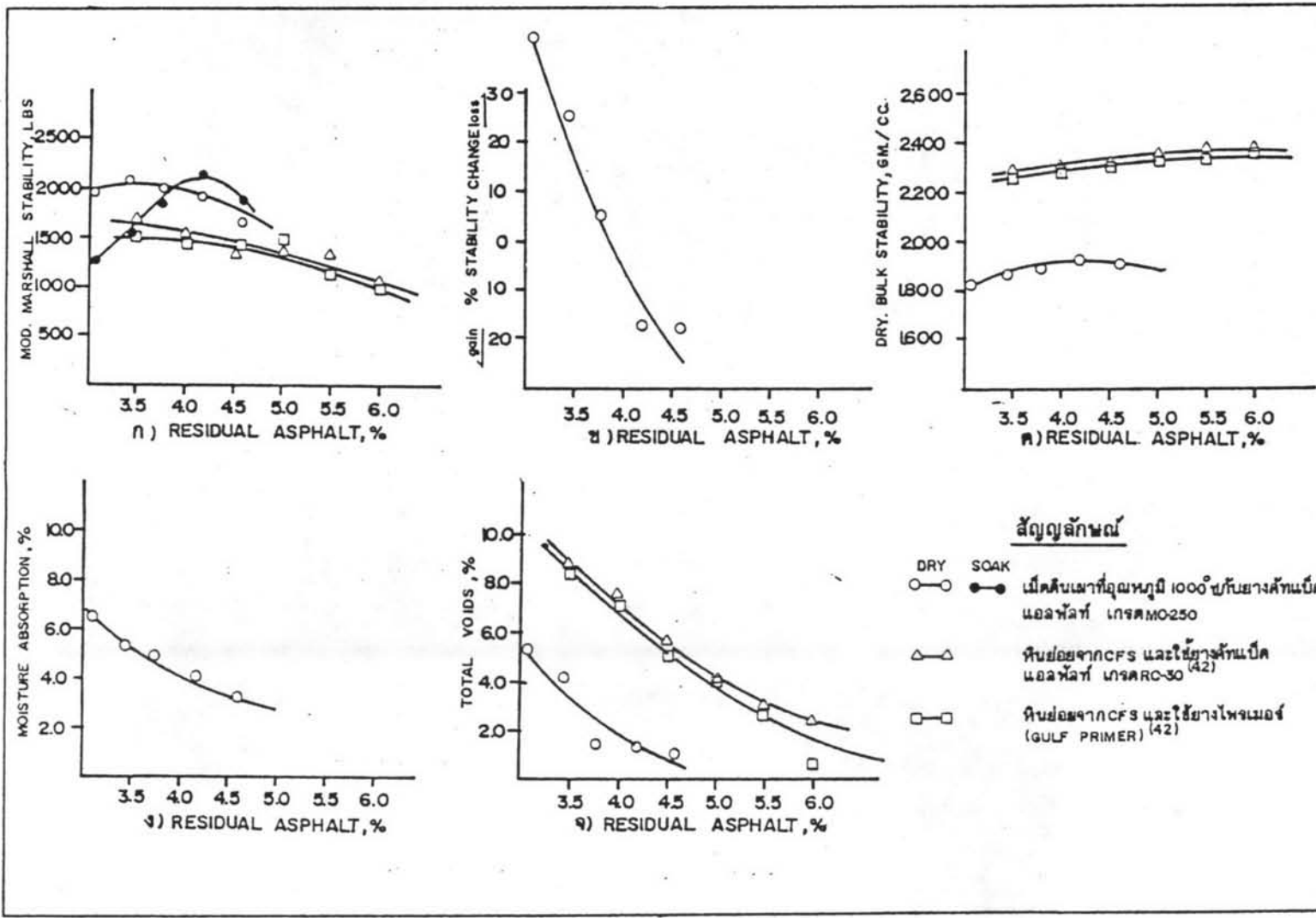
i) หินปูนจากโรงไม่สีลำเจ้าเขียง จังหวัดตาก⁽⁶⁾

j) หินปูนจาก จังหวัดราชบุรี

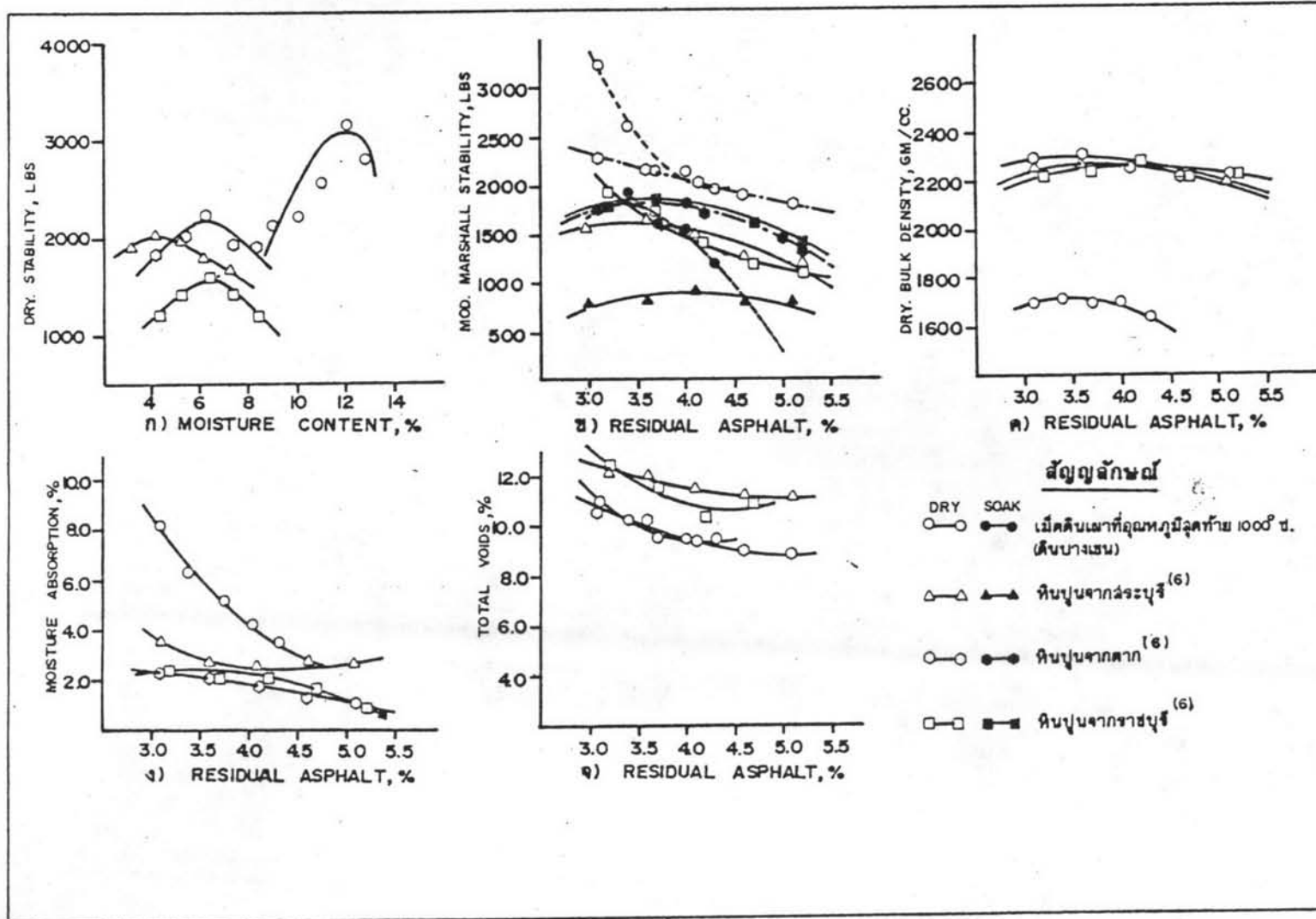
1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100
 101
 102
 103
 104
 105
 106
 107
 108
 109
 110
 111
 112
 113
 114
 115
 116
 117
 118
 119
 120
 121
 122
 123
 124
 125
 126
 127
 128
 129
 130
 131
 132
 133
 134
 135
 136
 137
 138
 139
 140
 141
 142
 143
 144
 145
 146
 147
 148
 149
 150
 151
 152
 153
 154
 155
 156
 157
 158
 159
 160
 161
 162
 163
 164
 165
 166
 167
 168
 169
 170
 171
 172
 173
 174
 175
 176
 177
 178
 179
 180
 181
 182
 183
 184
 185
 186
 187
 188
 189
 190
 191
 192
 193
 194
 195
 196
 197
 198
 199
 200
 201
 202
 203
 204
 205
 206
 207
 208
 209
 210
 211
 212
 213
 214
 215
 216
 217
 218
 219
 220
 221
 222
 223
 224
 225
 226
 227
 228
 229
 230
 231
 232
 233
 234
 235
 236
 237
 238
 239
 240
 241
 242
 243
 244
 245
 246
 247
 248
 249
 250
 251
 252
 253
 254
 255
 256
 257
 258
 259
 260
 261
 262
 263
 264
 265
 266
 267
 268
 269
 270
 271
 272
 273
 274
 275
 276
 277
 278
 279
 280
 281
 282
 283
 284
 285
 286
 287
 288
 289
 290
 291
 292
 293
 294
 295
 296
 297
 298
 299
 300
 301
 302
 303
 304
 305
 306
 307
 308
 309
 310
 311
 312
 313
 314
 315
 316
 317
 318
 319
 320
 321
 322
 323
 324
 325
 326
 327
 328
 329
 330
 331
 332
 333
 334
 335
 336
 337
 338
 339
 340
 341
 342
 343
 344
 345
 346
 347
 348
 349
 350
 351
 352
 353
 354
 355
 356
 357
 358
 359
 360
 361
 362
 363
 364
 365
 366
 367
 368
 369
 370
 371
 372
 373
 374
 375
 376
 377
 378
 379
 380
 381
 382
 383
 384
 385
 386
 387
 388
 389
 390
 391
 392
 393
 394
 395
 396
 397
 398
 399
 400
 401
 402
 403
 404
 405
 406
 407
 408
 409
 410
 411
 412
 413
 414
 415
 416
 417
 418
 419
 420
 421
 422
 423
 424
 425
 426
 427
 428
 429
 430
 431
 432
 433
 434
 435
 436
 437
 438
 439
 440
 441
 442
 443
 444
 445
 446
 447
 448
 449
 450
 451
 452
 453
 454
 455
 456
 457
 458
 459
 460
 461
 462
 463
 464
 465
 466
 467
 468
 469
 470
 471
 472
 473
 474
 475
 476
 477
 478
 479
 480
 481
 482
 483
 484
 485
 486
 487
 488
 489
 490
 491
 492
 493
 494
 495
 496
 497
 498
 499
 500
 501
 502
 503
 504
 505
 506
 507
 508
 509
 510
 511
 512
 513
 514
 515
 516
 517
 518
 519
 520
 521
 522
 523
 524
 525
 526
 527
 528
 529
 530
 531
 532
 533
 534
 535
 536
 537
 538
 539
 540
 541
 542
 543
 544
 545
 546
 547
 548
 549
 550
 551
 552
 553
 554
 555
 556
 557
 558
 559
 560
 561
 562
 563
 564
 565
 566
 567
 568
 569
 570
 571
 572
 573
 574
 575
 576
 577
 578
 579
 580
 581
 582
 583
 584
 585
 586
 587
 588
 589
 590
 591
 592
 593
 594
 595
 596
 597
 598
 599
 600
 601
 602
 603
 604
 605
 606
 607
 608
 609
 610
 611
 612
 613
 614
 615
 616
 617
 618
 619
 620
 621
 622
 623
 624
 625
 626
 627
 628
 629
 630
 631
 632
 633
 634
 635
 636
 637
 638
 639
 640
 641
 642
 643
 644
 645
 646
 647
 648
 649
 650
 651
 652
 653
 654
 655
 656
 657
 658
 659
 660
 661
 662
 663
 664
 665
 666
 667
 668
 669
 670
 671
 672
 673
 674
 675
 676
 677
 678
 679
 680
 681
 682
 683
 684
 685
 686
 687
 688
 689
 690
 691
 692
 693
 694
 695
 696
 697
 698
 699
 700
 701
 702
 703
 704
 705
 706
 707
 708
 709
 710
 711
 712
 713
 714
 715
 716
 717
 718
 719
 720
 721
 722
 723
 724
 725
 726
 727
 728
 729
 730
 731
 732
 733
 734
 735
 736
 737
 738
 739
 740
 741
 742
 743
 744
 745
 746
 747
 748
 749
 750
 751
 752
 753
 754
 755
 756
 757
 758
 759
 760
 761
 762
 763
 764
 765
 766
 767
 768
 769
 770
 771
 772
 773
 774
 775
 776
 777
 778
 779
 780
 781
 782
 783
 784
 785
 786
 787
 788
 789
 790
 791
 792
 793
 794
 795
 796
 797
 798
 799
 800
 801
 802
 803
 804
 805
 806
 807
 808
 809
 810
 811
 812
 813
 814
 815
 816
 817
 818
 819
 820
 821
 822
 823
 824
 825
 826
 827
 828
 829
 830
 831
 832
 833
 834
 835
 836
 837
 838
 839
 840
 841
 842
 843
 844
 845
 846
 847
 848
 849
 850
 851
 852
 853
 854
 855
 856
 857
 858
 859
 860
 861
 862
 863
 864
 865
 866
 867
 868
 869
 870
 871
 872
 873
 874
 875
 876
 877
 878
 879
 880
 881
 882
 883
 884
 885
 886
 887
 888
 889
 890
 891
 892
 893
 894
 895
 896
 897
 898
 899
 900
 901
 902
 903
 904
 905
 906
 907
 908
 909
 910
 911
 912
 913
 914
 915
 916
 917
 918
 919
 920
 921
 922
 923
 924
 925
 926
 927
 928
 929
 930
 931
 932
 933
 934
 935
 936
 937
 938
 939
 940
 941
 942
 943
 944
 945
 946
 947
 948
 949
 950
 951
 952
 953
 954
 955
 956
 957
 958
 959
 960
 961
 962
 963
 964
 965
 966
 967
 968
 969
 970
 971
 972
 973
 974
 975
 976
 977
 978
 979
 980
 981
 982
 983
 984
 985
 986
 987
 988
 989
 990
 991
 992
 993
 994
 995
 996
 997
 998
 999
 1000



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการทดลองแบบผสมเย็น ระหว่างมวลรวมเม็ดดินเผา หินปูนย่อยและกรวด โดยมียางแอสฟัลท์เกรดต่าง ๆ เป็นยางประสาน



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการทดลองแบบผสมเย็น ระหว่างมวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผา 1,000°ซ กับหินย่อยจาก CFS โดยมียางแอสฟัลท์เกรดต่าง ๆ เป็นยางประสาน



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการทดลองแบบผสมเย็น ระหว่างมวลรวมเม็ดดินเผาและหินปูน โดยมียางแอสฟัลท์อีมีลชั้น เกรด SS-K เป็นยางประสาน