บทที่ 5

ผลการทดลองงานวิจัย

ผลการทดลองงานวิจัยจะแบ่งออกได้เป็นสองส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนแรกเป็นผลการทดลองคุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์เปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนตร์ที่ผสมสารอีวีเอ และส่วนที่สองจะเป็นผลการทดลองของแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้งที่เตรียมจากวัสดุหินคลุก, ดิน Silty Clay หรือดิน Silty Sand พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุยืดประสาน เป็นสารแอสฟัลต์ซีเมนต์กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอด้วย

5.1 ผลการทดลองคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์

ผลการทดลองจะประกอบด้วย การหาค่าความถ่วงจำเพาะ, การทะลวง, การยืดตัว ค่าจุดอ่อนตัว, จุดวาบไฟ, ค่าความหนืดแบบคิเนมาติค, ความคงทนและความเหนียว และค่าการบิดตัวคืนกลับ ซึ่งได้รวบรวมผลการทดลองไว้ดังตารางที่ 5.1 ด้วย

5.1.1 ผลการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของแอสฟัลต์ซีเมนต์

จากการทดลองจะได้ค่าสำหรับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เท่ากับ 1.009 และเมื่อทำการทดลองกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับสารอีวีเอโคโพลีเมอร์ จะให้ค่าจากการทดลองแตกต่างจากเดิมน้อยมาก อยู่ระหว่าง 1.009-1.010 เท่านั้น

5.1.2 ผลการทดลองหาค่าการทะลวง (Penetration)

การทดลองนี้ได้กระทำทั้งที่ผสมสารอีวีเอโคโพลีเมอร์และไม่ผสม ทั้งนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ชุด ใหญ่ ๆ คือ ชุดแรกกระทำก่อนทำการทดลอง Thin Film Oven เมื่อทำการทดลองกับแอสฟัลต์ซีเมนต์จะได้ค่าเท่ากับ 95 ขณะที่ทำการทดสอบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับสารผสมอีวีเอโคโพลีเมอร์ (จะทำการผสมตั้งแต่ 1-5% โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์) ค่าการทดสอบปรากฏว่าจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อผสมสารนี้มากขึ้น และจะสูงสุดที่การผสม 3%

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการลองคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมลารอีวีเอ

Properties		% EVA					
		Ø	1	2	3	4	5
Specific Gravity (25 °C)		1.ØØ9	1.Ø1Ø	1.Ø1Ø	1.ØØ9	1.Ø1Ø	1.Ø1Ø
Penetration (25 °C)	before TFOT	95	1Ø2	1Ø6	112	87	76
	after TFOT	72	76	78	8Ø	68	64
Ductility (25 °C) (cm)	before TFOT	114	- -	OVER 1ØØ	- -	1Ø4	75
	after TFOT	1Ø2	- -	OVER 1ØØ	- -	85	42
Ring & Ball Softening Point (°C)							
	before TFOT	46	47	49	5Ø	51	52
	after TFOT	48	49	5Ø	52	53	54
Flash Point (C °)		316	-	316	318	321	322
Lost on Heating (163 °C) (%)		Ø.14	Ø.16	Ø.16	Ø.17	Ø.18	Ø.19
Kinematic Viscosity (135 °C) (cSt)							
	before TFOT	343.5	383.2	448.1	513.5	711.4	86Ø.9
	after TFOT	374.3	418.1	485.3	583.8	841.9	935.9
Toughness (25 °C) (inch-pounds)		21.3	-	3Ø.2	3Ø.7	32.5	34.2
Tenacity (25 °C) (inch-pounds)		3.2	-	6.6	6.2	5.4	2.8
Torsional Recovery (25 °C) (%)		Ø.3	-	1.2	3.1	7.8	12.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

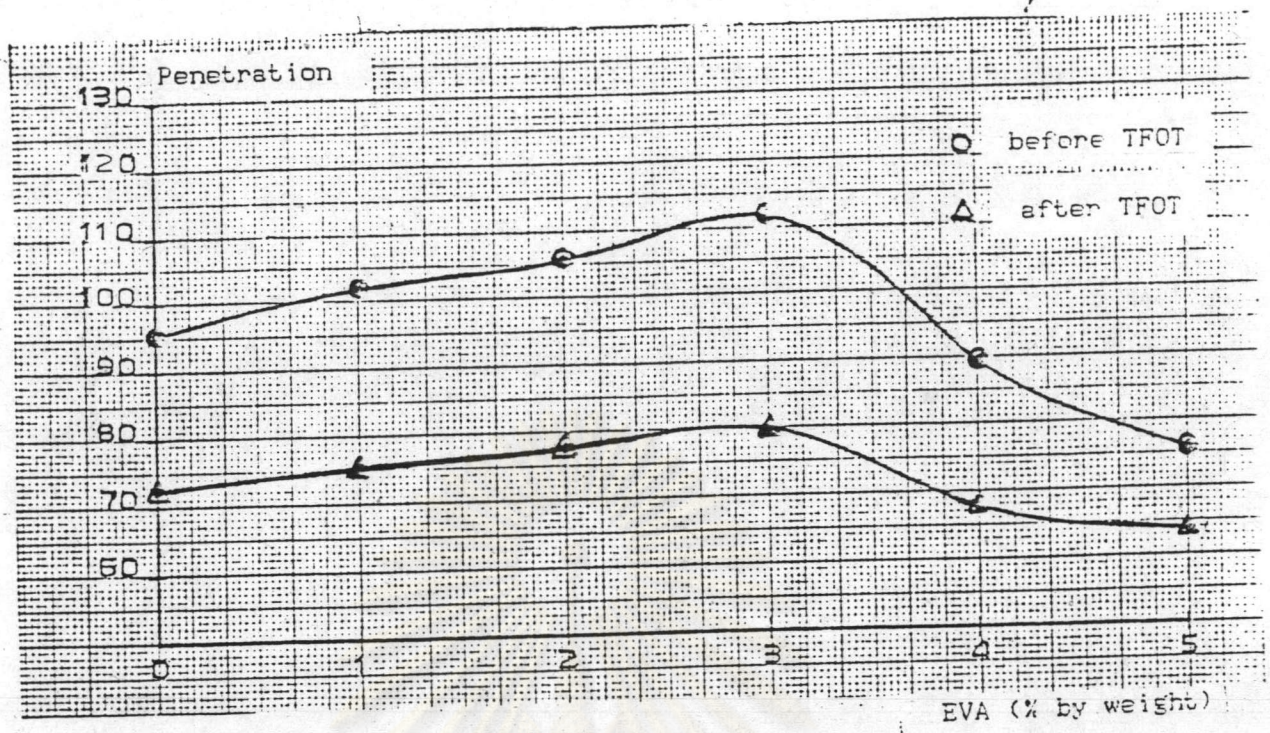
ได้ค่าสูงถึง 112 จากนั้นค่าการทดสอบจะลดลง และที่การผสม 5% จะได้ค่าการทดสอบเหลือเพียง 76 เท่านั้น ส่วนในชุดที่สอง จะกระทำภายหลังผ่านการทดลอง Thin Film Oven ค่าผลการทดลองของแอสพัลต์ซีเมนต์ เท่ากับ 72 เมื่อคิดค่า Retained Penetration จะได้ = (72/95) x 100 = 75.8% ซึ่งได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D 946 จะต้องมากกว่า 47% ส่วนค่าที่ทำการทดลองกับแอสพัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับอีวีเอโคโพลีเมอร์ จะให้แนวโน้มของผลการทดลองคล้ายเดิม จะให้ค่าสูงสุดที่ 3% มีค่าเท่ากับ 80 และค่าต่ำสุดที่ 5% มีค่าเท่ากับ 64 ภาพที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Penetration กับค่าการผสมสารอีวีเอ ทั้งก่อนและหลังการทำ Thin Film Oven Test (TFOT)

5.1.3 ผลการทดลองหาค่าการยืดตัว (Ductility)

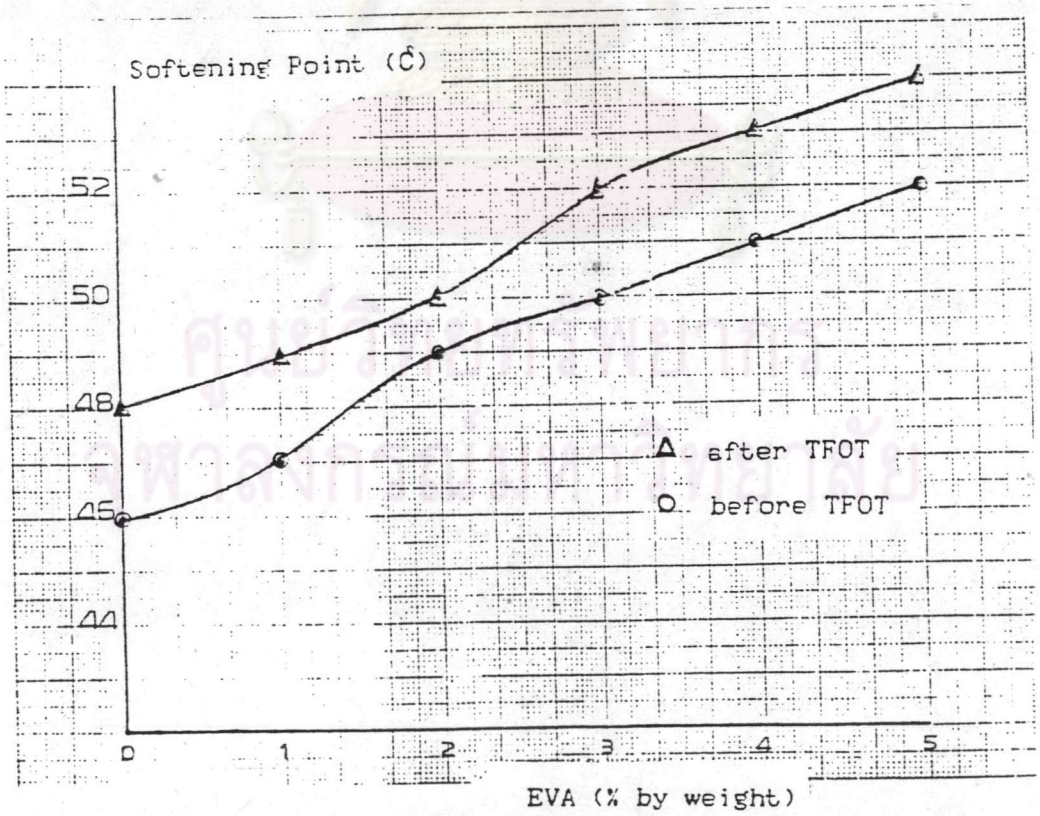
การทดลองหาค่าการยืดตัว (Ductility) การทดลองจะแบ่งออกเป็นสองชุด คือ ชุดแรกทำการทดลองกับแอสพัลต์ซีเมนต์ที่ยังไม่ผ่านการทดลอง Thin Film Oven และชุดที่สองจะทำการทดลองหลังผ่านการทดลอง Thin Film oven แล้ว เมื่อทำการทดลองกับแอสพัลต์ซีเมนต์ชุดแรกจะให้ค่าที่สูงกว่า 100 และค่าของผลการทดลองแอสพัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอโคโพลีเมอร์ต่างก็สูงเกิน 100 นอกจากนี้ 5% อีวีเอโคโพลีเมอร์ จะให้ค่าเหลือเพียง 85 ส่วนในชุดที่สองปรากฏผลทดลองว่าเกิน 100 เกือบทั้งหมด นอกจากที่ 4% และ 5% อีวีเอโคโพลีเมอร์ ค่าที่ได้จะไม่เกิน 100

5.1.4 ผลการทดลองจุดอ่อนตัว (Softening Point)

เมื่อทำการทดลองกับแอสพัลต์ซีเมนต์จะให้ค่าเท่ากับ 46 และเมื่อผสมสารอีวีโคโพลีเมอร์ 1-5% โดยน้ำหนักแอสพัลต์ซีเมนต์ จะให้ค่าที่สูงขึ้นอยู่ระหว่าง 47-52 ส่วนผลการทดลองที่ทำกับตัวอย่างที่ผานการทดลอง Thin Film Oven จะให้ค่าที่สูงขึ้นจาก ...ม เมื่อทำการทดลองกับแอสพัลต์ซีเมน จะเท่ากับ 48 และเมื่อผสมสารผสมอีวีเอจะให้ค่าอยู่ระหว่าง 48-54 ภาพที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจุดอ่อนตัว กับค่าการผสมสารอีวีเอ ทั้งก่อนและหลังการทำ Thin Film Oven Test (TFOT)



ภาพที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Penetration กับค่าการผสมสาร EVA ทั้งก่อนและหลังการทำ Thin Flim Oven Test (TFOT)



ภาพที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Ring & Ball Softening Point กับค่าการผสมสาร EVA ทั้งก่อนและหลังการทำ Thin Film Oven Test (TFOT)

5.1.5 ผลการทดลองจุดวาบไฟ (Flash Point)

การทดลองปรากฏผลการทดลองว่าต่างก็สูงกว่า 232 C ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D 946 เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่าจะให้ค่าที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อผสมสารอีวีเอโคโพลีเมอร์มากขึ้น และเมื่อทำการทดลองกับแอสฟัลต์ซีเมนต์จะให้ค่าผลการทดลองเท่ากับ 316 ซ. และค่าสูงสุดที่ได้เท่ากับ 322 ซ. ที่ 5% อีวีเอโคโพลีเมอร์

5.1.6 ผลการทดลองค่าสูญเสียสารประกอบแอสฟัลต์เมื่อได้รับความร้อน (Loss on Heating)

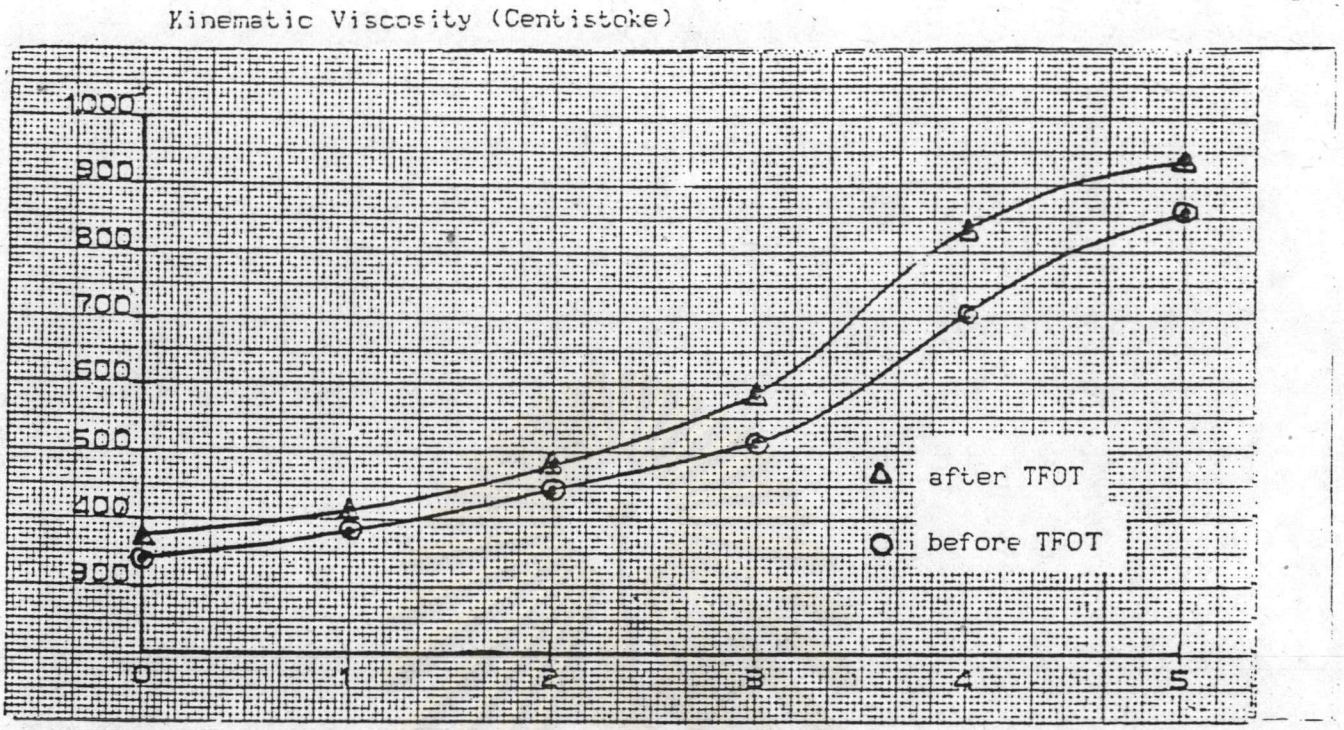
จากผลการทดลองพบว่า การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากความร้อน ปรากฏว่าจะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณการผสมสารอีวีเอที่สูงขึ้น อัตราการเพิ่มค่าการสูญเสียจะสูงขึ้น ตามอัตราการผสมสารอีวีเอที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.14-0.19%

5.1.7 ผลการทดลองธินฟิมล์โอเวน (Thin Film Oven)

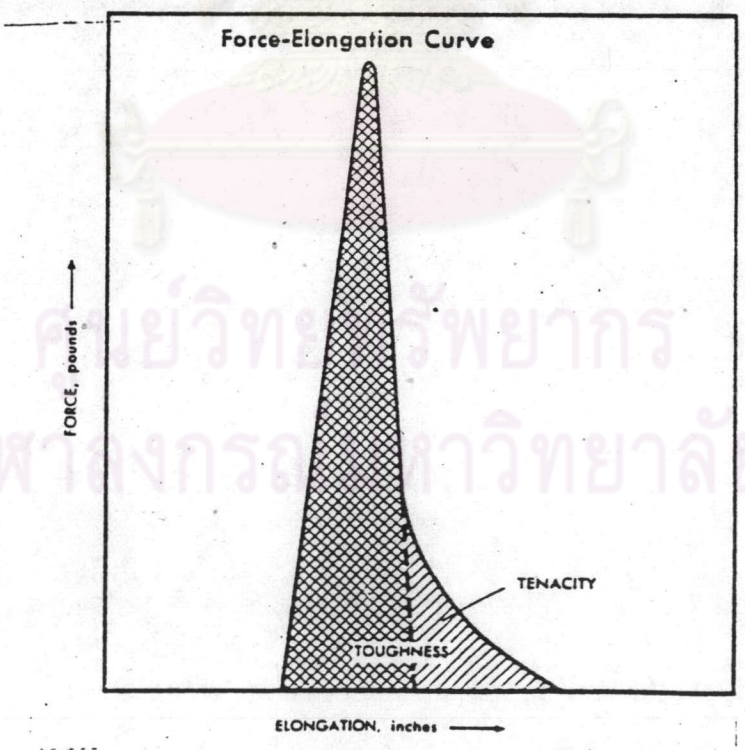
การทดลองนี้เป็นการประเมินความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายหลังการกระทำของความร้อนและอากาศ กับค่าที่ได้ก่อนการทดลองนี้ ค่าที่ต้องการเปรียบเทียบประกอบด้วยการทดลองการจมของเข็มมาตรฐาน (Penetration), การทดลองการยืดตัว (Ductility) และการทดลองหาค่าความหนืด (Viscosity) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลง และได้สรุปผลการทดลอง ดังตารางที่ 5.1

5.1.8 ผลการทดลองหาค่าความหนืดแบบคิเนมาติค (Kinematic Viscosity)

การทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ชุด เช่นเดิม ในชุดแรกทำการทดลองก่อนผ่านการทดลอง Thin Film oven ทำการทดลองกับแอสฟัลต์ซีเมนต์จะให้ค่าเท่ากับ 343.5 เซนติสโตค และเมื่อทำการทดลองกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับอีวีเอโคโพลีเมอร์ 1-5% จะให้ค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ อยู่ระหว่าง 383.2-860.9 เซนติสโตค ส่วนในชุดที่สองจะทำการทดลองภายหลังทำการทดลอง Thin Film oven เมื่อทำการทดลองกับแอสฟัลต์ซีเมนต์จะได้ค่าเท่ากับ 374.3 เซนติสโตค และเมื่อทดสอบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับอีวีเอโคโพลีเมอร์ 1-5% จะให้ค่าอยู่ระหว่าง 418.1-935.9 เซนติสโตค ซึ่งสูงขึ้นจากชุดแรก



ภาพที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดแบบคิเนมาติค (Kinematic Viscosity) กับค่าการผสมสาร EVA ทั้งก่อนและหลังการทำ Thin Film Oven Test (TFOT)



ภาพที่ 5.4 แสดงการประเมินหาค่าความคงทน (Toughness) และค่าความเหนียว (Tenacity)

ภาพที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดแบบคิเนมาติค กับค่าการผสมสารอีวีเอ ทั้งก่อนและหลังการทำ Thin Film Oven Test (TFOT)

5.1.9 ผลการทดลองความคงทนและความเหนียว (Toughness and Tenacity)

การทดลองนี้เป็นการหาพื้นที่ใต้กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้นดึงกับการยืดตัวของแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยค่าความคงทน (Toughness) เป็นพื้นที่กราฟในช่วงตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งถึงจุดสูงสุดของแรงเค้นดึงมีขอบเขตเป็นเส้นความลาด (tangent) จากจุดสูงสุด ส่วนพื้นที่ใต้กราฟที่เหลือเป็นในช่วงที่ยืดตัว โดยที่การรับแรงลดลง จนกระทั่งถึงจุดวิบัติ ดังภาพที่ 5.4 เมื่อทำการทดลองกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ จะได้ค่าความทนทาน (Toughness) เท่ากับ 21.3 ปอนด์-นิ้ว และเมื่อทำการทดลองกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมอีวีเอโคโพลีเมอร์ ตั้งแต่ 2-5% ผลปรากฏว่า จะให้ค่าที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่ 30.2-36.7 ปอนด์-นิ้ว ส่วนค่าความเหนียว (Tenacity) เมื่อทดลองกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ จะให้ค่าเท่ากับ 3.2 ปอนด์-นิ้ว และเมื่อทดลองกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมอีวีเอโคโพลีเมอร์ จะให้ค่าสูงสุดที่ 3% อีวีเอโคโพลีเมอร์ เท่ากับ 9.8 ปอนด์-นิ้ว แต่จากนั้นจะให้ค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อผสมอีวีเอโคโพลีเมอร์มากขึ้น ภาพที่ 5.5 แสดงค่าของความคงทน (Toughness) และความเหนียว (Tenacity) ที่ปริมาณการผสมสารอีวีเอต่าง ๆ

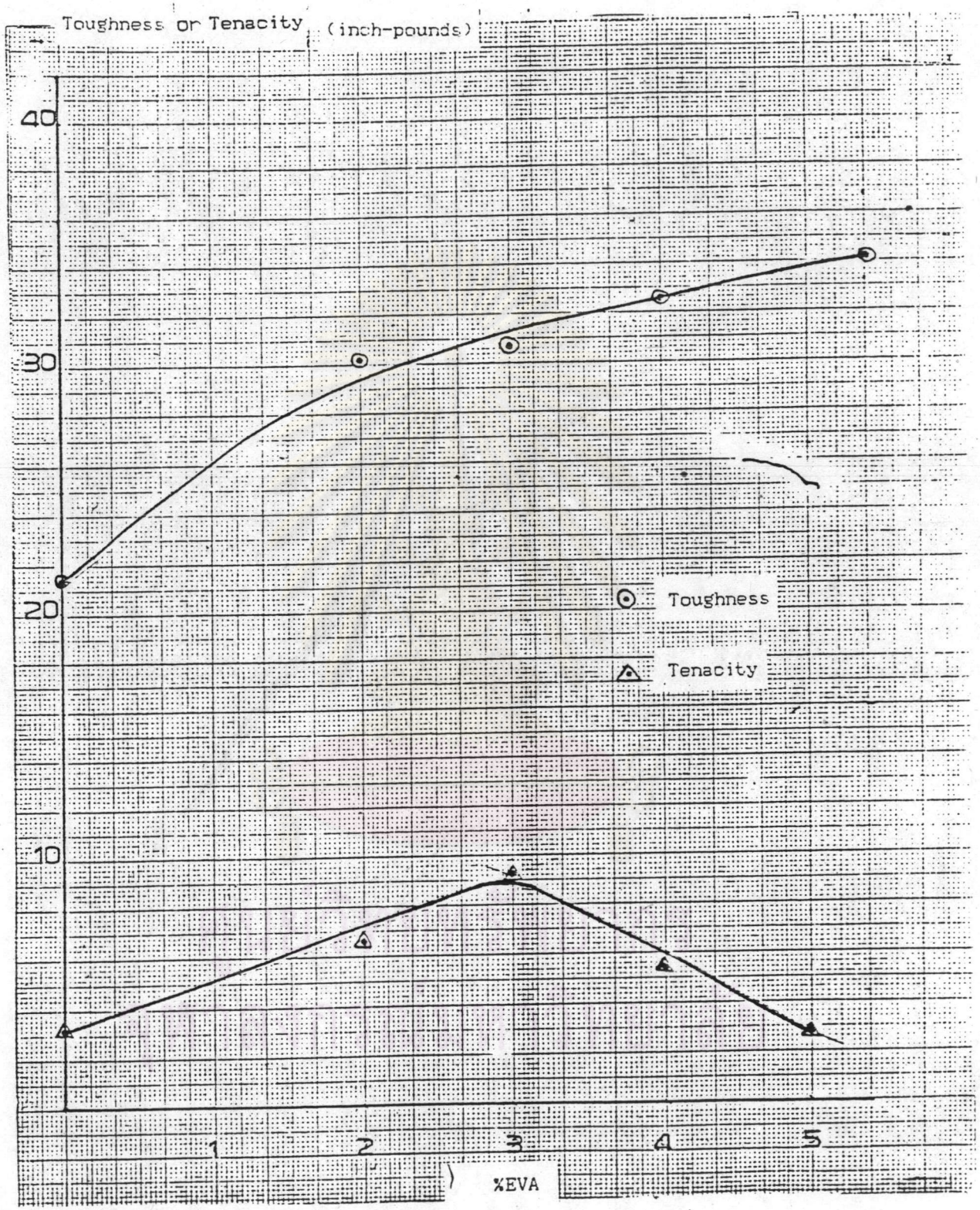
5.1.10 ผลการทดลองหาค่าการบิดตัวกลับ (Torsional Recovery)

การทดลองหาค่าการบิดตัวกลับ เป็นการทดลองเพื่อหาค่าความสามารถในการยืดหยุ่นของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ทั้งที่ผสมสารอีวีเอโคโพลีเมอร์หรือไม่ผสม เมื่อทำการทดลองกับแอสฟัลต์จะได้ค่าเท่ากับ 0.3% และเมื่อทดลองกับแอสฟัลต์ที่ผสมสารอีวีเอโคโพลีเมอร์ 1-5% จะให้ค่าที่สูงมากขึ้นเมื่อผสมสารนี้มากขึ้น และให้ค่าอยู่ระหว่าง 0.5-14.9% ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 5.6

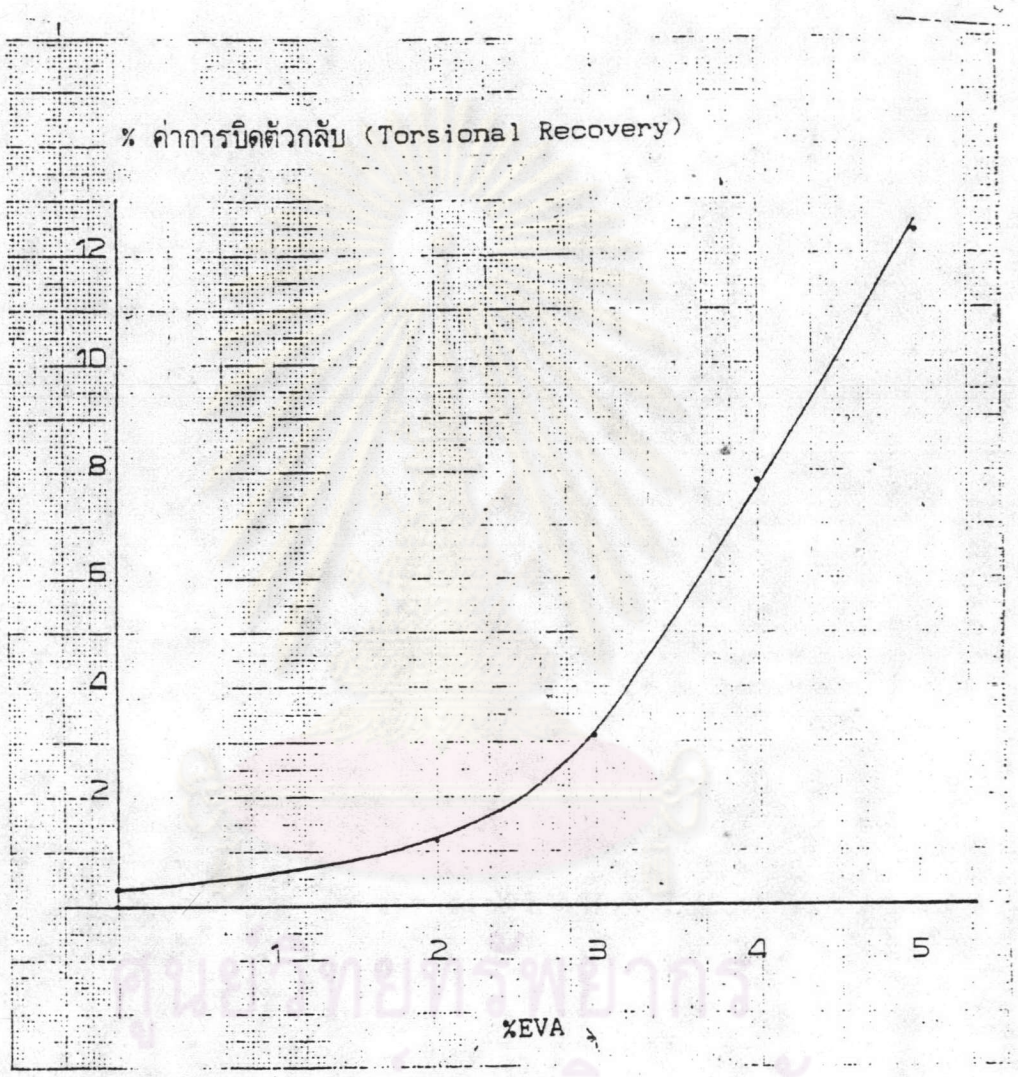
5.2 ผลการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีฮวีม (Hveem)

5.2.1 มวลรวมหินคลุก (Crushed Rock) เป็นวัสดุหลัก

การทดลองขั้นแรกเริ่มด้วยการประเมินค่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยอาศัยคุณสมบัติพื้นที่ผิว, ความถ่วงจำเพาะ, ขนาดคละของมวลรวม และความหนืดของแอสฟัลต์ซีเมนต์เป็นหลัก



ภาพที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคงทน (Toughness) และค่าความเหนียว (Tenacity) กับค่าการผสมสาร EVA



ภาพที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการบิดตัวกลับ (Torsional Recovery) กับปริมาณการผสมสาร EVA ในแอสพัลต์ซีเมนต์

วิธีทดลองนี้มีชื่อว่า Centrifuge Kerosene Equivalent (C.K.E) ผลการทดลองปรากฏจากภาพที่ 5.7 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C.K.E. ที่ปรับค่าจากค่าความถ่วงจำเพาะกับค่าพื้นที่ผิว และเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงหมายเลข 4 เพื่อหาค่าคงที่ Kf จากการทดลองจะได้ค่า CKE เท่ากับ 3.2 และ CKE ที่ปรับค่าแล้วจะเท่ากับ 3.23 ค่าพื้นที่ผิวของมวลรวมแสดงที่ตารางที่ 5.2 จะเท่ากับ 33.57 ตารางฟุตต่อปอนด์ ค่าเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงหมายเลข 4 เท่ากับ 55.5% จะได้ค่าคงที่ Kf เท่ากับ 0.98 จากภาพที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Kc กับเปอร์เซนต์น้ำมันที่ตกค้างบนมวลรวมหยาบหลังการทดลอง ซึ่งจากการทดลองปรากฏว่ามีน้ำมันตกค้างอยู่ถึง 2.3% ทำให้ประเมินค่าสัมประสิทธิ์ Kc ได้เท่ากับ 1.1 ภาพที่ 5.9 เป็นการประเมินหาค่า Kf correct จากค่าพื้นที่ผิวกับค่าเปอร์เซนต์ของมวลรวมหยาบ และผลต่างระหว่าง Kc กับ Kf ปรากฏว่าจากค่า Kf correct เท่ากับ 0 และจากสูตรสัมประสิทธิ์ Km = Kf-Kf correct. จะได้ค่า Km เท่ากับ Kf ภาพที่ 5.10 เป็นการประเมินหาค่า Oil Ratio จากค่าพื้นที่ผิว 33.57 ตารางฟุตต่อปอนด์, ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.673 และค่า Km เท่ากับ 0.98 จะได้ค่า Oil Ratio เท่ากับ 4.2% และภาพที่ 5.11 เป็นแผนภาพการประเมินหาค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม จากค่า Oil Ratio เท่ากับ 3.8% แอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภท AR4000 และค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 33.57 ตารางฟุตต่อปอนด์ จะได้ค่าปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม ประมาณ 5% โดยน้ำหนักมวลรวม

เมื่อนำค่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ประเมินได้จากการทดลอง CKE มาเป็นค่าปริมาณหลักในการออกแบบ เพื่อประเมินหาค่าที่เหมาะสมจริง โดยจะต้องเป็นตามข้อกำหนดดังตารางที่ 2.23 และจากภาพที่ 5.12 ประเมินค่าการทดลองของฮวีม จะได้ค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม เท่ากับ 5.1% โดยน้ำหนักมวลรวม ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.386, ค่าเปอร์เซนต์ช่องว่างอากาศ เท่ากับ 3.7%, ค่าเสถียรภาพลัมพัทธ์เท่ากับ 49 และค่าการยืดเหนี่ยวเท่ากับ 291.9 จะใช้ค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ 5.1% นี้ เป็นค่าหลักในการออกแบบเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ด้วยการทดลองของฮวีม โดยจะเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอโคโพลีเมอร์ ที่ปริมาณ 2-5% โดยน้ำหนักแอสฟัลต์ซีเมนต์กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.3 ปรากฏว่า จะได้ค่าเสถียรภาพสูงสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ไม่ผสมสารอีวีเอเท่ากับ 43 และค่าการยืดเหนี่ยวสูงสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ไม่ผสมสารอีวีเอ เท่ากับ 291.9 ค่าเสถียรภาพลัมพัทธ์ต่ำสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 39 และค่าการยืดเหนี่ยวต่ำสุดที่การผสมอีวีเอ 3% เท่ากับ 265.1 เมื่อทำการบ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลอง CKE

ขนาดตะแกรง	% ร่อนผ่านตะแกรง	S.A. Factor	Surface Area
3/4"	100		
1/2"	96.8	.41(2)	.41(2)
3/8"	84.6		
#4	55.5	.41(2)	.22(1.11)
#8	40.9	.82(4)	.34(1.64)
#16	3.30	1.64(8)	.54(2.64)
#30	24.2	2.87(14)	.69(3.39)
#50	17.3	6.14(30)	1.06(5.19)
#100	11.2	12.29(60)	1.38(6.72)
#200	6.8	32.77(160)	2.26(10.88)

. . Surface Area. = 6.87 m^2/kg

(33.57 ft^2/lb)

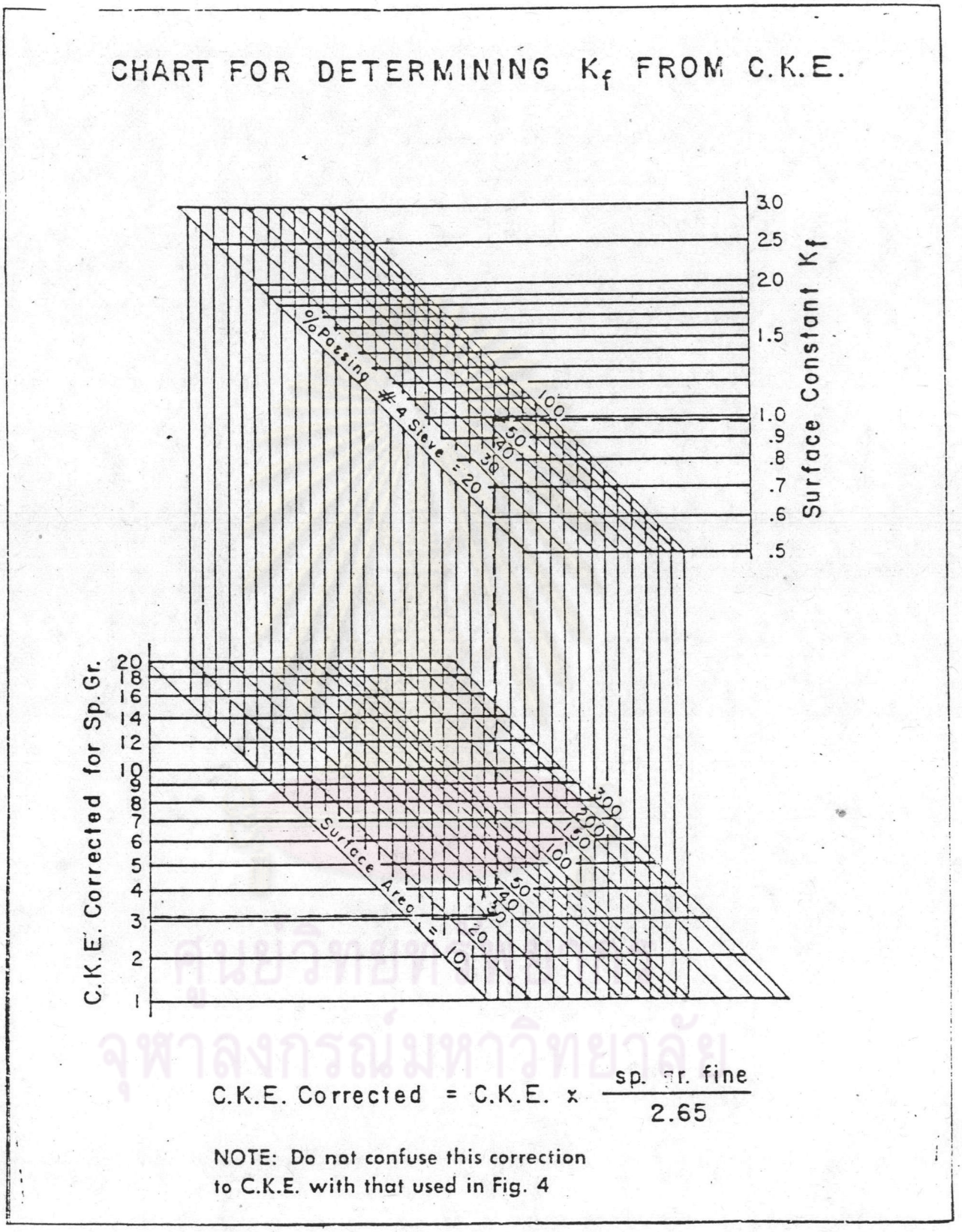
CKE : 3.2%

เปอร์เซนต์น้ำมันตกค้างที่มวลรวมหยาบ : 2.3%

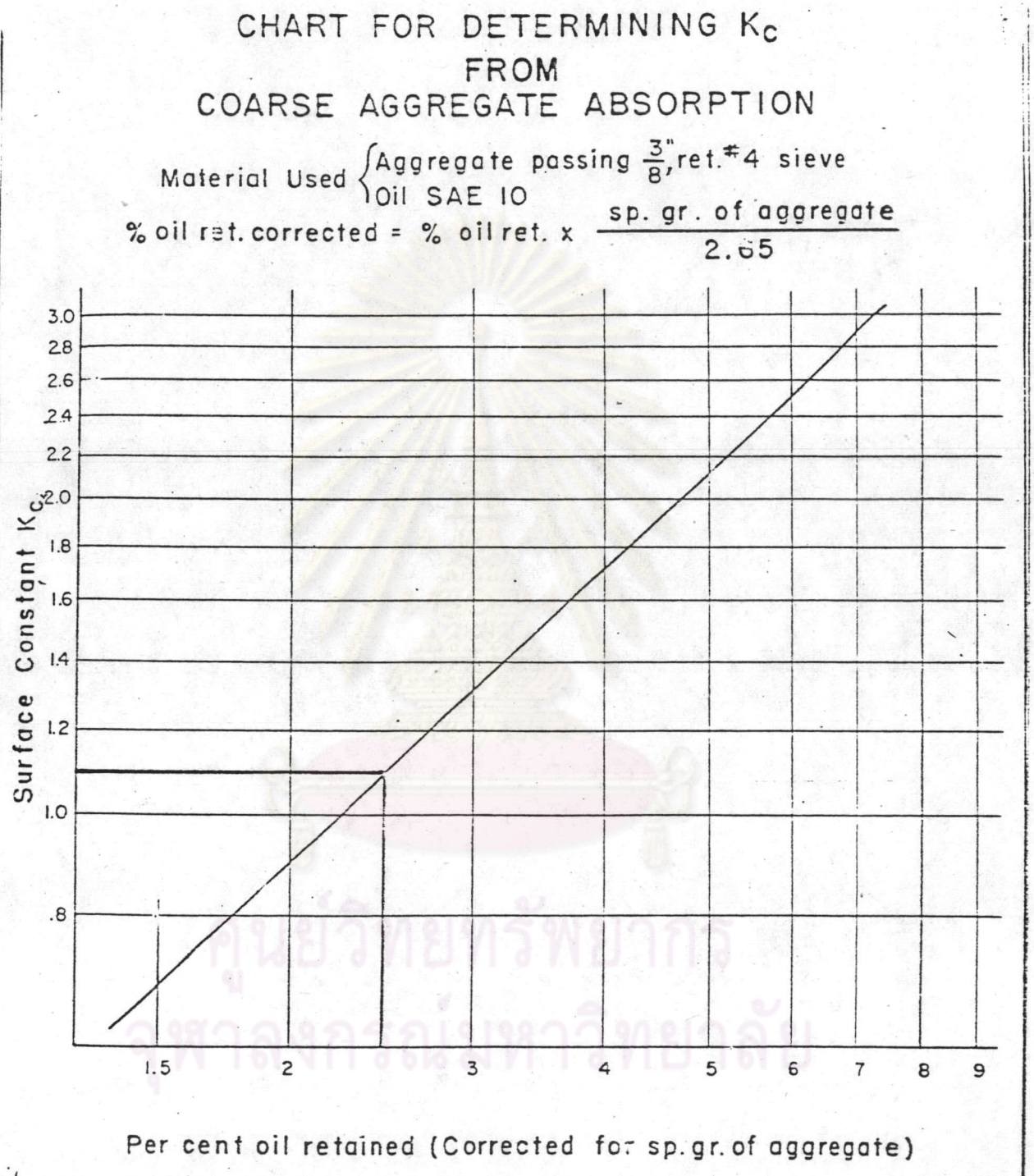
ค่าคงที่ kf = 0.98, kc = 1.1 ; km = 1.08

% Asphalt Cement (Estimate) : 5% by weight.

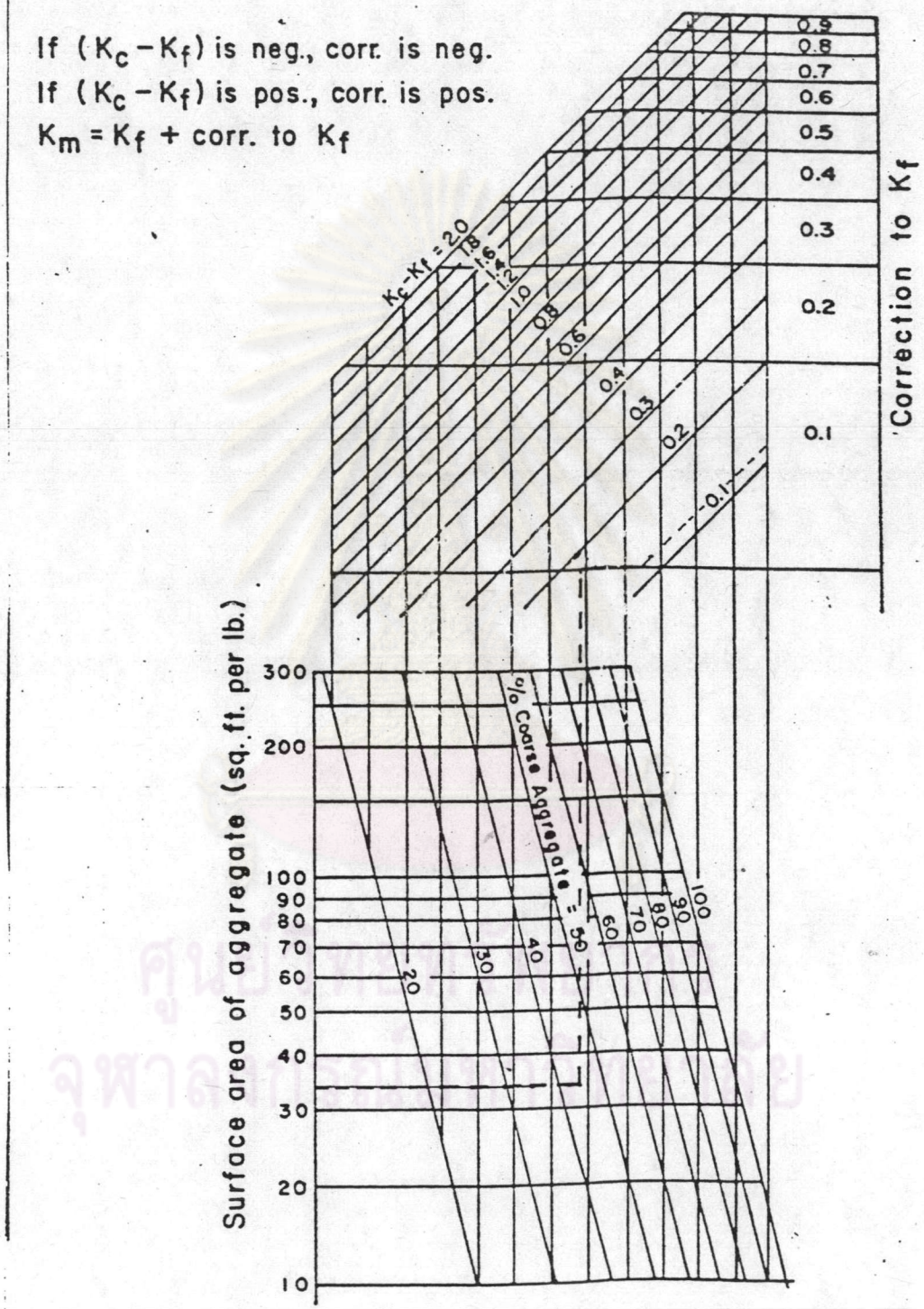
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



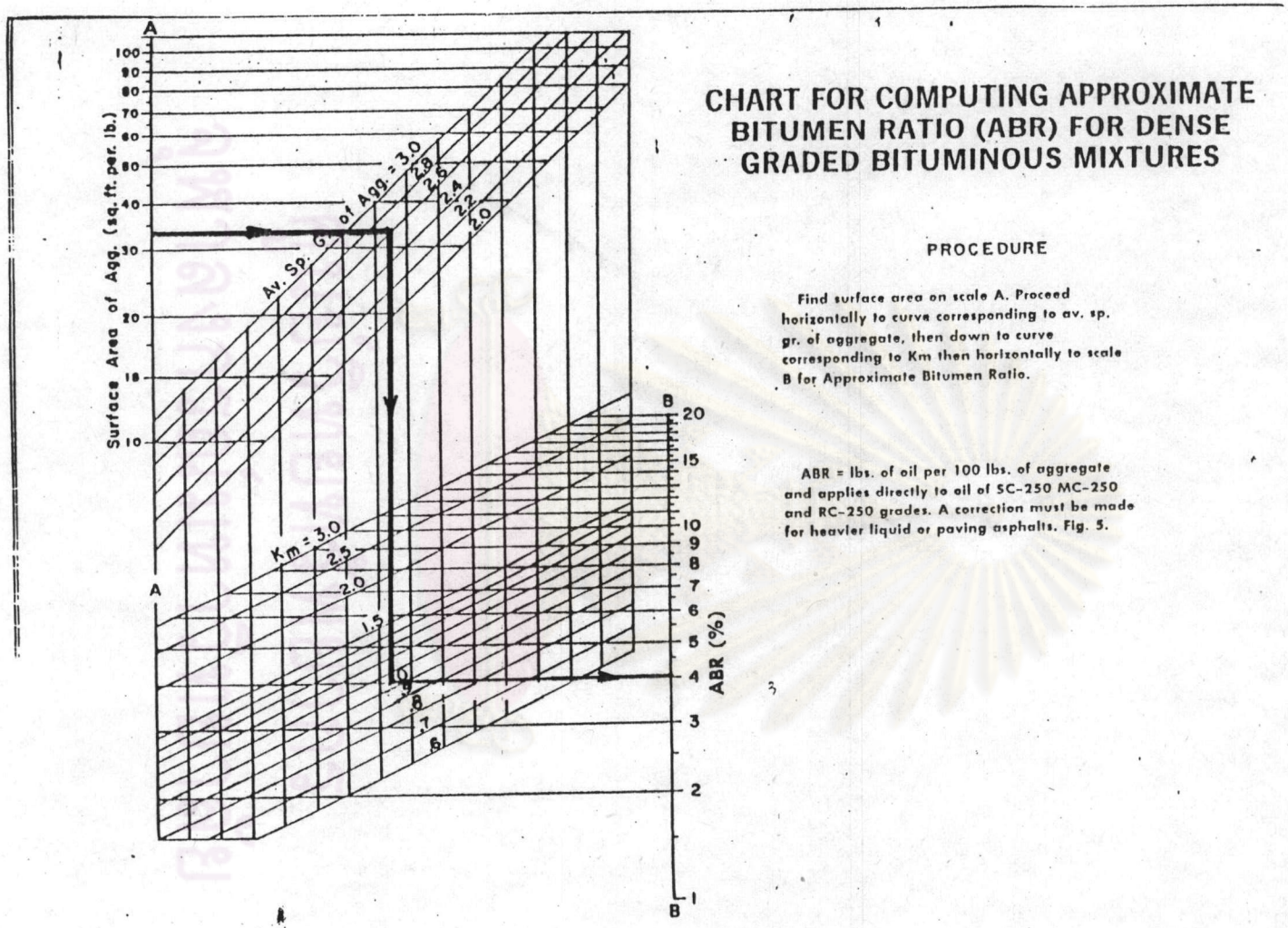
ภาพที่ 5.7 แสดงการหาค่าคงที่ kf. ของมวลรวมละเอียด จากค่า CKE. ของการออกแบบของฮิวม (Hveem)



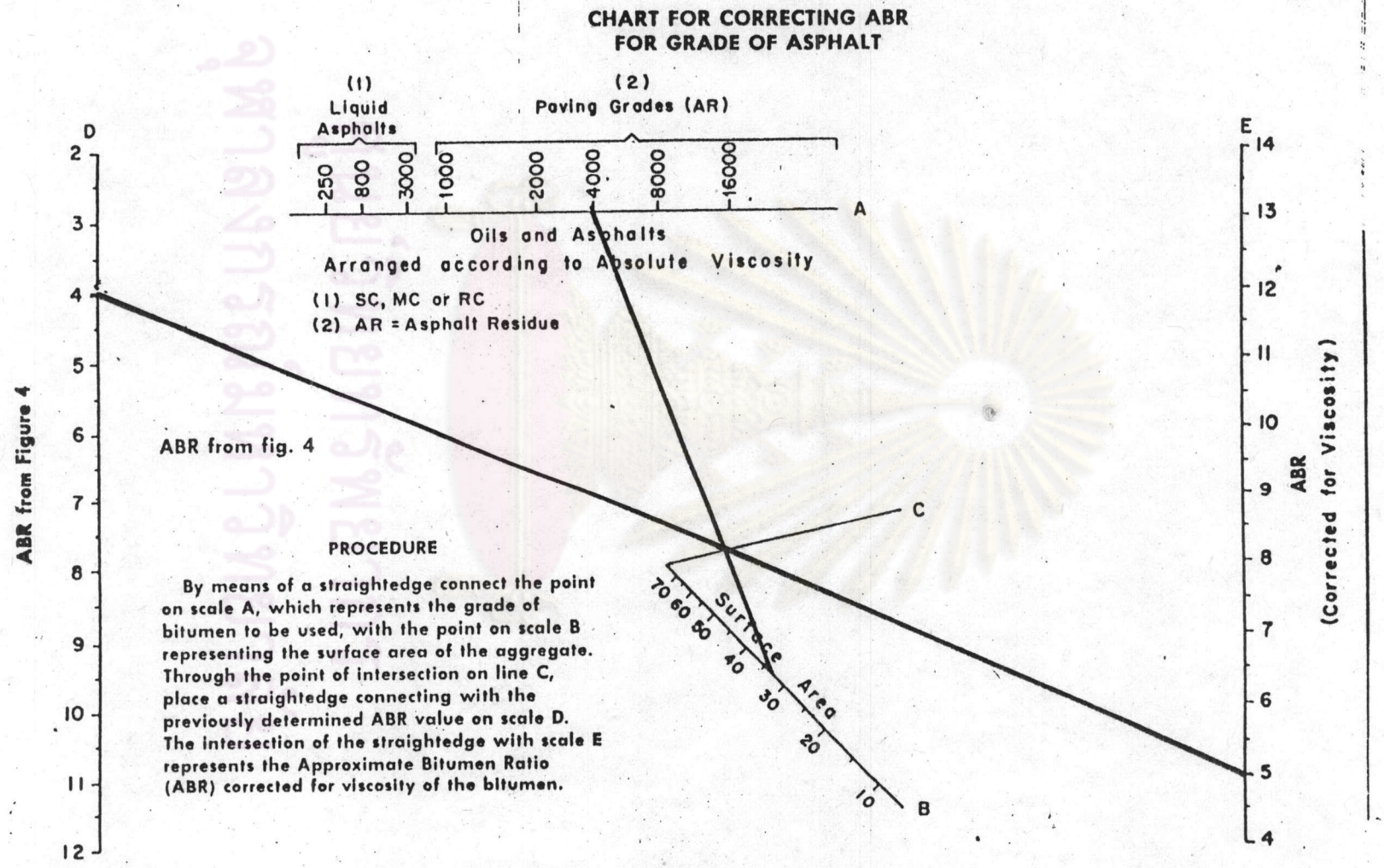
ภาพที่ 5.8 แสดงการหาค่าคงที่ Kc จากปริมาณน้ำมันที่ค้างอยู่



ภาพที่ 5.9 แสดงการหาค่าคงที่ Km จากค่าผลต่างระหว่างค่าคงที่ Kc กับ Kf กับปริมาณมวลรวมหยาบ และค่าพื้นที่ผิวของมวลรวม



ภาพที่ 5.10 แสดงการคำนวณอัตราส่วนน้ำมันของแอสฟัลต์สำหรับการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตแบบแน่น



ภาพที่ 5.11 แสดงการหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์จากค่าความหนืด กับอัตราส่วนของน้ำมันของแอสฟัลต์

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีของฮวีม (Hveem)

Materails	Temp. Deg. c	% E.V.A. By Wt. AC.	% AC. By Wt. Agg.	Bulk Sp.Gr.	% Air Void	Relative Stability	Cohesiometer Value	Swell $x10^{-3}$ in.
Crushed Rock	60	-	4.5	2.361	5.6	44	291.9	3
		-	5.0	2.378	4.2	47	288.0	3
		-	5.5	2.402	2.8	45	327.0	3
		-	6.0	2.419	1.3	42	350.2	2
Crushed Rock	60	-	5.1	2.386	3.7	49	291.9	2
		2	5.1	2.395	3.4	42	274.2	2
		3	5.1	2.394	3.6	39	265.1	2
		4	5.1	2.390	3.6	42	277.6	2
		5	5.1	2.386	3.7	44	286.8	2
Crushed Rock	60	-	5.1	2.395	3.4	56	352.4	2
cure 7 day		2	5.1	2.393	3.5	50	342.3	2
		3	5.1	2.403	3.2	49	335.3	1
		4	5.1	2.393	3.5	50	349.7	2
		5	5.1	2.388	3.5	54	367.8	1
Crushed Rock	60	-	5.1	2.393	3.4	61	376.4	1
cure 14 day		2	5.1	2.402	3.2	54	368.3	1
		3	5.1	2.403	3.2	51	355.9	2
		4	5.1	2.401	3.1	53	379.6	1
		5	5.1	2.390	3.5	60	382.7	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

Materails	Temp. Deg. c	% E.V.A. By Wt. AC.	% AC. By Wt. Agg.	Bulk Sp.Gr.	% Air Void	Relative Stability	Cohesiometer Value	Swell $x10^{-3}$ in.
Crushed Rock	60	-	5.1	2.398	3.2	66	384.5	1
cure 28 day		2	5.1	2.393	3.5	60	373.0	-
		3	5.1	2.400	3.3	56	373.6	1
		4	5.1	2.394	3.4	59	379.1	-
		5	5.1	2.384	3.7	62	394.5	-
Crushed Rock	25	-	5.1	2.395	3.4	59	635.9	3
(25 deg.c)		2	5.1	2.402	3.2	65	648.2	2
		3	5.1	2.392	3.6	65	664.7	2
		4	5.1	2.385	3.8	62	678.7	2
		5	5.1	2.386	3.6	56	708.7	2
Silty Clay	60	-	7.0	1.884	20.6	25	407.5	7
+ 20% Agg.		-	8.0	1.900	19.4	27	442.5	6
		-	9.0	1.932	17.0	28	458.1	5
		-	10.0	1.975	14.2	29	473.2	5
		-	11.0	1.995	12.8	28	493.1	4
Silty Clay	60	-	7.0	2.075	13.9	28	630.3	6
+ 3.% Agg.		-	8.0	2.096	12.0	31	701.3	5
		-	9.0	2.122	9.7	33	742.3	4
		-	10.0	2.124	8.5	31	719.6	3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

Materails	Temp. Deg. c	% E. By Wt. AC.	% AC. By Wt. Agg.	Bulk Sp.Gr.	% Air Void	Relative Stability	Cohesiometer Value	Swell $x10^{-3}$ in.
Silty Clay	60	-	9.0	2.122	9.7	33	742.3	4
+ 30% Agg.		2	9.0	2.124	9.6	31	656.8	3
		3	9.0	2.126	9.4	29	664.2	3
		4	9.0	2.120	9.9	30	691.6	3
		5	9.0	2.117	9.9	33	719.4	2
Silty Clay	60	-	9.0	2.122	9.7	46	896.2	3
+ 30% Agg.		2	9.0	2.122	9.7	44	780.7	2
Cure 7 days		3	9.0	2.129	9.3	40	757.3	2
		4	9.0	2.124	9.7	41	840.2	2
		5	9.0	2.119	9.8	46	862.7	2
Silty Clay	60	-	9.0	2.123	9.5	50	978.3	2
+ 30% Agg.		2	9.0	2.124	9.6	46	837.2	2
Cure 14 days		3	9.0	2.128	9.4	43	813.9	2
		4	9.0	2.126	9.5	45	898.5	2
		5	9.0	2.115	9.9	49	928.3	1
Silty Clay	60	1	9.0	2.126	9.5	53	1017.7	1
+30% Agg.		2	9.0	2.125	9.6	49	935.7	1
Cure 28 days		3	9.0	2.123	9.6	45	928.2	1
		4	9.0	2.116	9.9	47	977.0	1
		5	9.0	2.111	10.2	51	1018.7	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

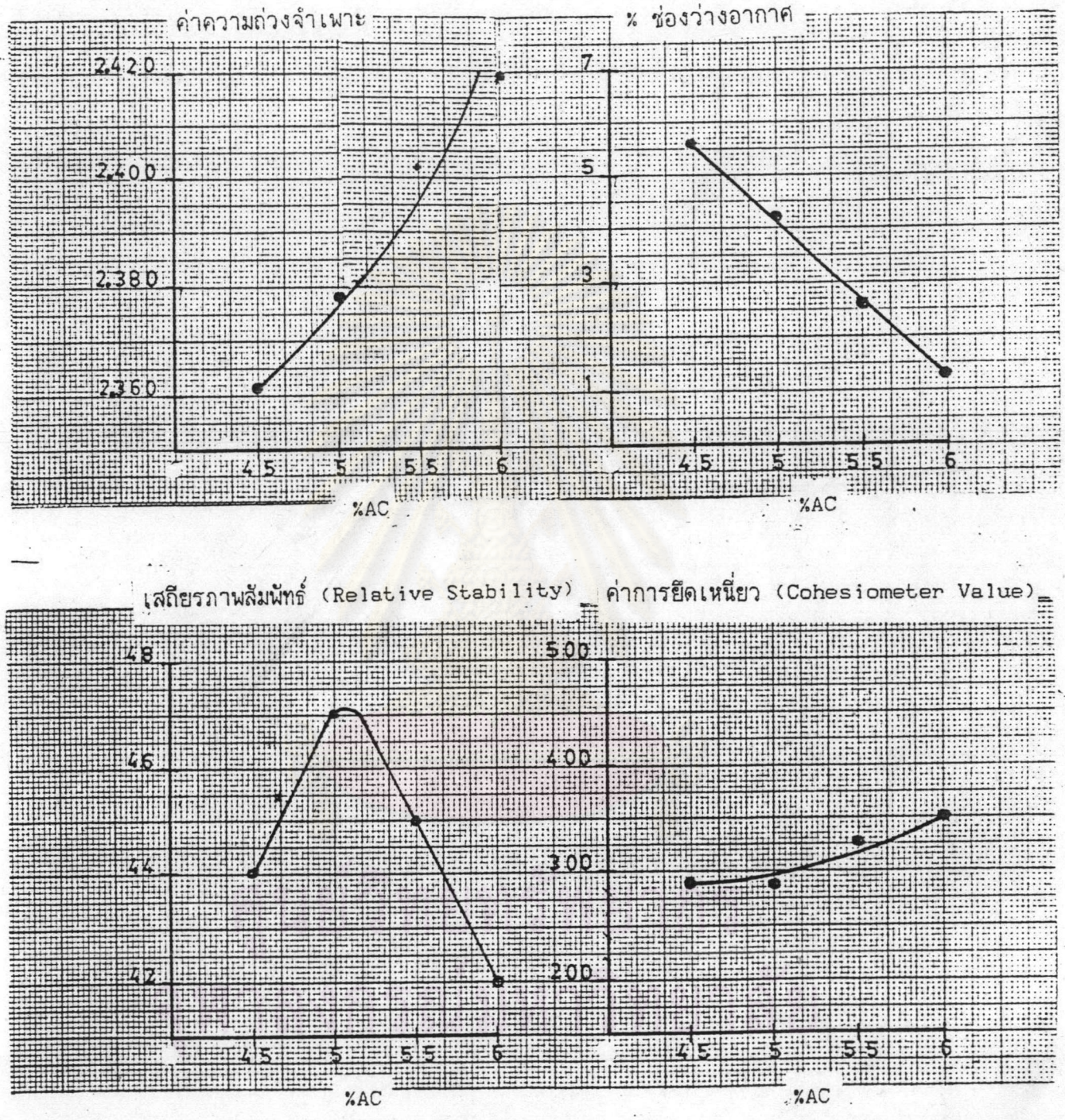
Materails	Temp. Deg. c	% E.V.A. By Wt. AC.	% AC. By Wt. Agg.	Bulk Sp.Gr.	% Air Void	Relative Stability	Cohesiometer Value	Swell $x10^{-3}$ in.
Silty Clay	25	-	9.0	2.124	9.6	37	1309.7	3
+30% Agg.		2	9.0	2.124	9.6	43	1303.2	3
(25 deg.c)		3	9.0	2.127	9.3	44	1370.8	3
		4	9.0	2.123	9.7	42	1381.2	2
		5	9.0	2.118	9.9	40	1379.0	2
Silty Sand	60	-	6.0	2.174	11.0	27	388.0	5
+30% Agg.		-	7.0	2.213	8.1	33	408.8	4
		-	8.0	2.260	5.0	35	416.0	3
		-	9.0	2.246	4.5	32	396.0	3
Silty Sand	60	-	8.0	2.260	5.0	35	416.0	3
+30% Agg.		2	8.0	2.264	5.1	33	387.9	3
		3	8.0	2.259	5.0	32	373.1	3
		4	8.0	2.248	5.5	33	386.1	2
		5	8.0	2.247	5.5	34	406.9	2
Silty Sand	60	-	8.0	2.256	5.2	49	615.3	2
+30% Agg.		2	8.0	2.259	5.2	47	570.1	2
Cure 7 days		3	8.0	2.265	4.7	44	543.2	2
		4	8.0	2.256	5.1	47	575.4	1
		5	8.0	2.250	5.3	49	593.7	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

Materails	Temp. Deg. c	% E.V.A. By Wt. AC.	% AC. By Wt. Agg.	Bulk Sp.Gr.	% Air Void	Relative Stability	Cohesiometer Value	Swell $x10^{-3}$ in.
Silty Sand	60	-	8.0	2.262	5.0	52	745.3	2
+30% Agg.		2	8.0	2.260	5.2	49	671.1	1
Cure 14 days		3	8.0	2.260	4.9	46	652.9	1
		4	8.0	2.260	4.9	48	687.9	1
		5	8.0	2.252	5.2	53	731.2	1
Silty Sand	60	-	8.0	2.265	4.8	55	858.3	1
+30% Agg.		2	8.0	2.260	5.1	53	833.5	1
Cure 28 days		3	8.0	2.263	4.6	50	825.4	1
		4	8.0	2.262	4.9	53	794.9	1
		5	8.0	2.256	5.1	55	864.6	-
Silty Sand	25	-	8.0	2.267	4.8	44	1010.7	2
+30% Agg.		2	8.0	2.265	5.0	50	998.8	3
(25 deg.c)		3	8.0	2.260	5.0	50	1048.8	2
		4	8.0	2.252	5.3	47	1063.9	2
		5	8.0	2.247	5.4	44	1050.3	2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



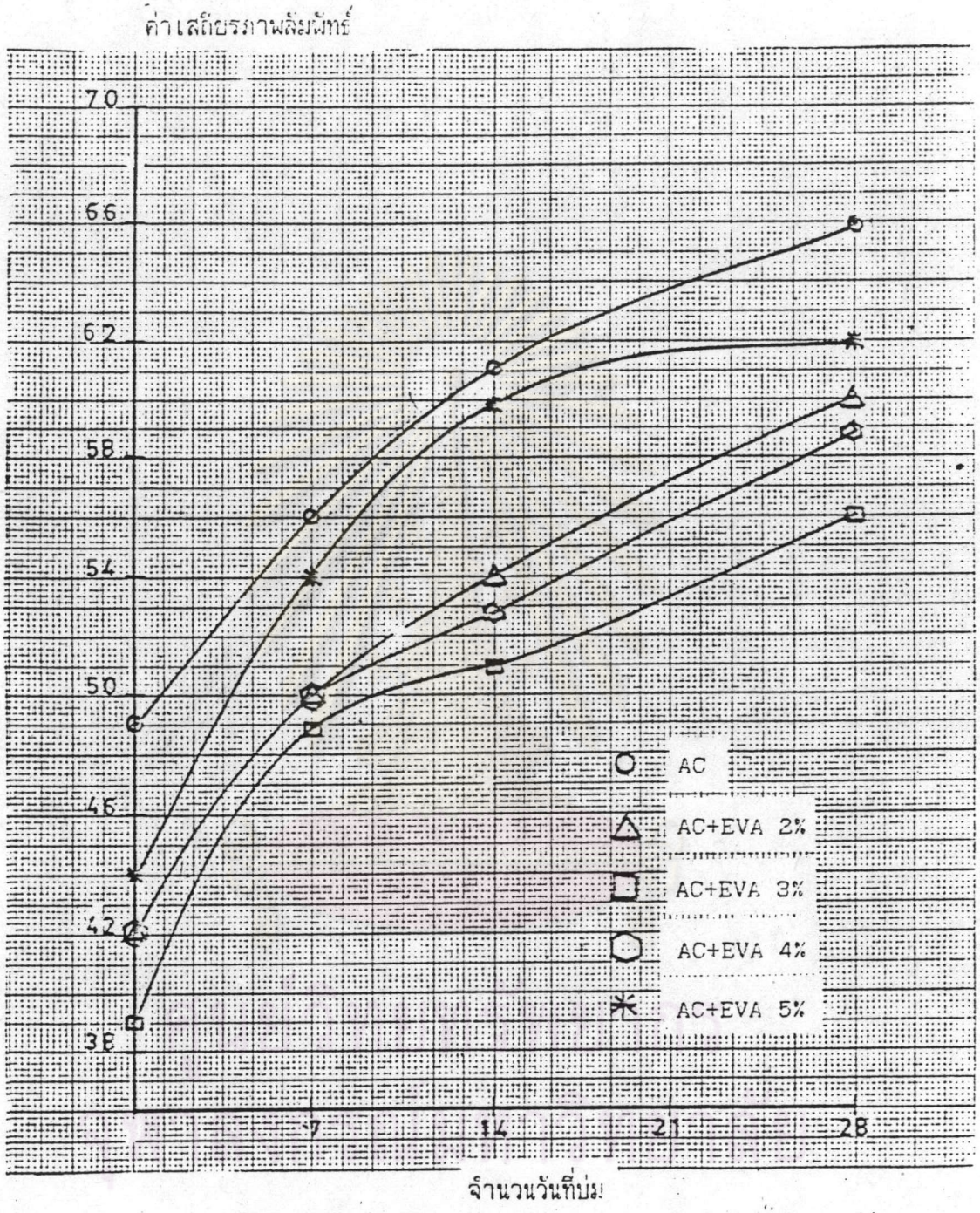
ภาพที่ 5.12 แสดงการประเมินหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ของวัสดุหินคลุก จากคุณสมบัติค่าปริมาณช่องว่างอากาศ (Air Void), ค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ (Relative Stability) และค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value)

ทดสอบ 7, 14 และ 28 วัน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลง ภาพที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์กับค่าจำนวนวันที่บ่มและปริมาณการผสมสารอีวีเอ ภาพที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดเหนี่ยวกับค่าจำนวนวันที่บ่มและปริมาณการผสมสารอีวีเอ ผลการเปรียบเทียบปรากฏว่า ที่การบ่ม 7 วันค่าเสถียรภาพสูงสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดาเท่ากับ 56 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 43 ส่วนค่าการยืดเหนี่ยวสูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ 5% เท่ากับ 367.8 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 335.3 ที่การบ่ม 14 วันค่าเสถียรภาพสูงสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดาเท่ากับ 61 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 51 ส่วนค่าการยืดเหนี่ยวสูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ 5% เท่ากับ 382.7 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 355.9 ที่การบ่ม 28 วันค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์สูงสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา เท่ากับ 66 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 56 ส่วนค่าการยืดเหนี่ยวสูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ 5% เท่ากับ 394.5 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 2% เท่ากับ 373.0 นอกจากนี้ยังมีการทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ 25 °ซ. เพื่อดูความแตกต่างของค่าต่าง ๆ ผลปรากฏว่าค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์สูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 65 และต่ำสุดที่การผสม 5% เท่ากับ 56 ส่วนค่าการยืดเหนี่ยวสูงสุดที่การผสม 5% เท่ากับ 479.7 และต่ำสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดาเท่ากับ 422.0 ภาพที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพกับปริมาณสารอีวีเอ และภาพที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดเหนี่ยวกับปริมาณสารอีวีเอ ที่อุณหภูมิ 25 °ซ.

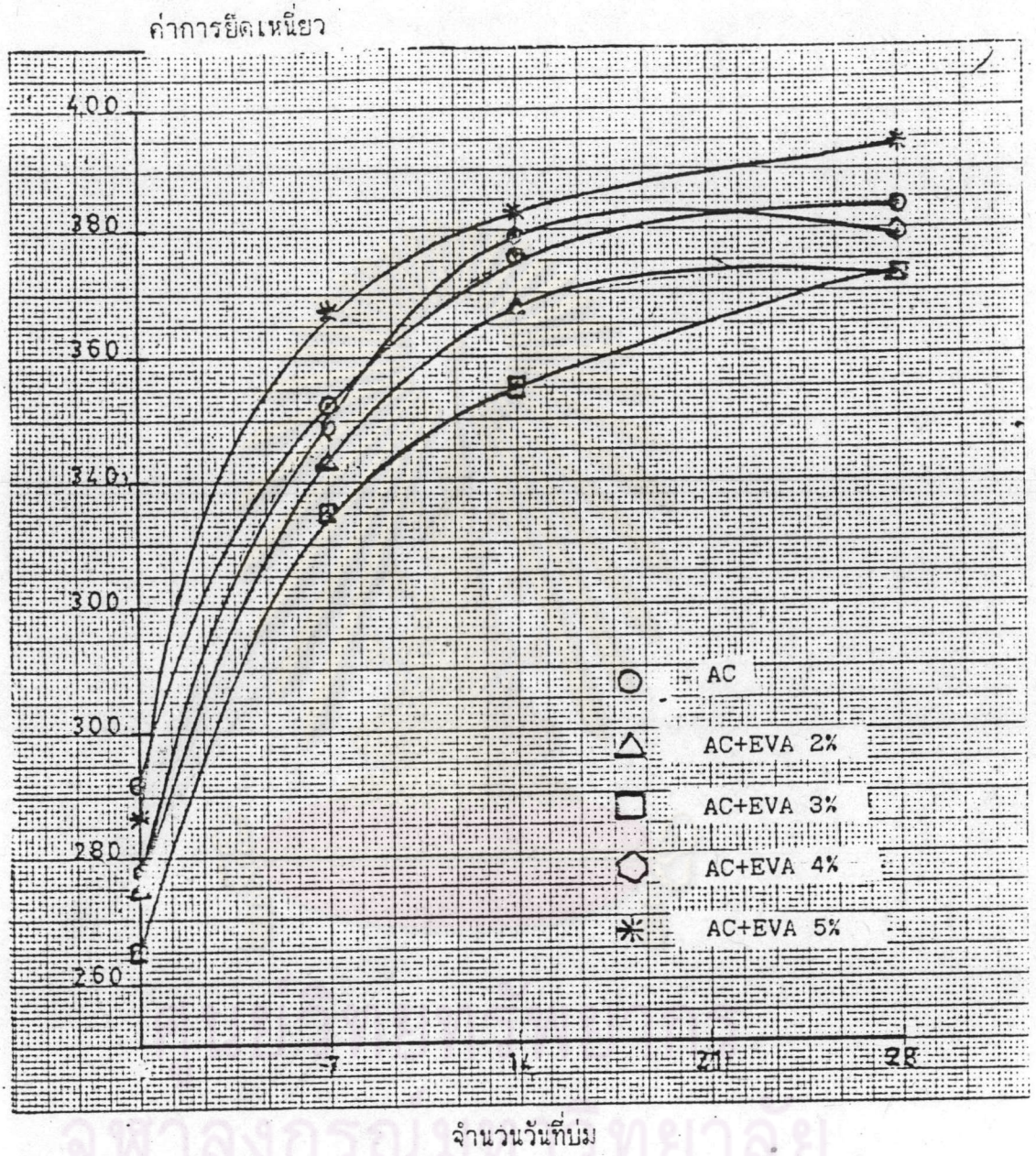
5.2.2 มวลรวมประเภทดิน Silty Clay เป็นวัสดุหลักของแอสฟัลต์คอนกรีต

วัสดุดิน Silty Clay มีปริมาณดินที่ร่อนผ่านตะแกรงหมายเลข 200 จำนวนมาก ดังนั้นเพื่อลดปริมาณการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ และเพิ่มความแข็งแรงให้มากขึ้น จึงผสมมวลรวมหินคลุกไม่เกิน 30% โดยน้ำหนักดิน หินคลุกที่ใช้มีขนาดโตสุด 1/2" และทำการเปรียบเทียบผลการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตของดิน Silty Clay ผสมหินคลุกที่ 20% กับ 30% แสดงผลดังตารางที่ 5.3

ผลการทดลองปรากฏว่าที่การผสมหินคลุก 30% จะให้ค่าที่ดีกว่ามาก และจากการออกแบบจะได้ค่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 9% ค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์เท่ากับ 33 และค่าการยืดเหนี่ยวเท่ากับ 742.3 ภาพที่ 5.16 แสดงการประเมินปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์

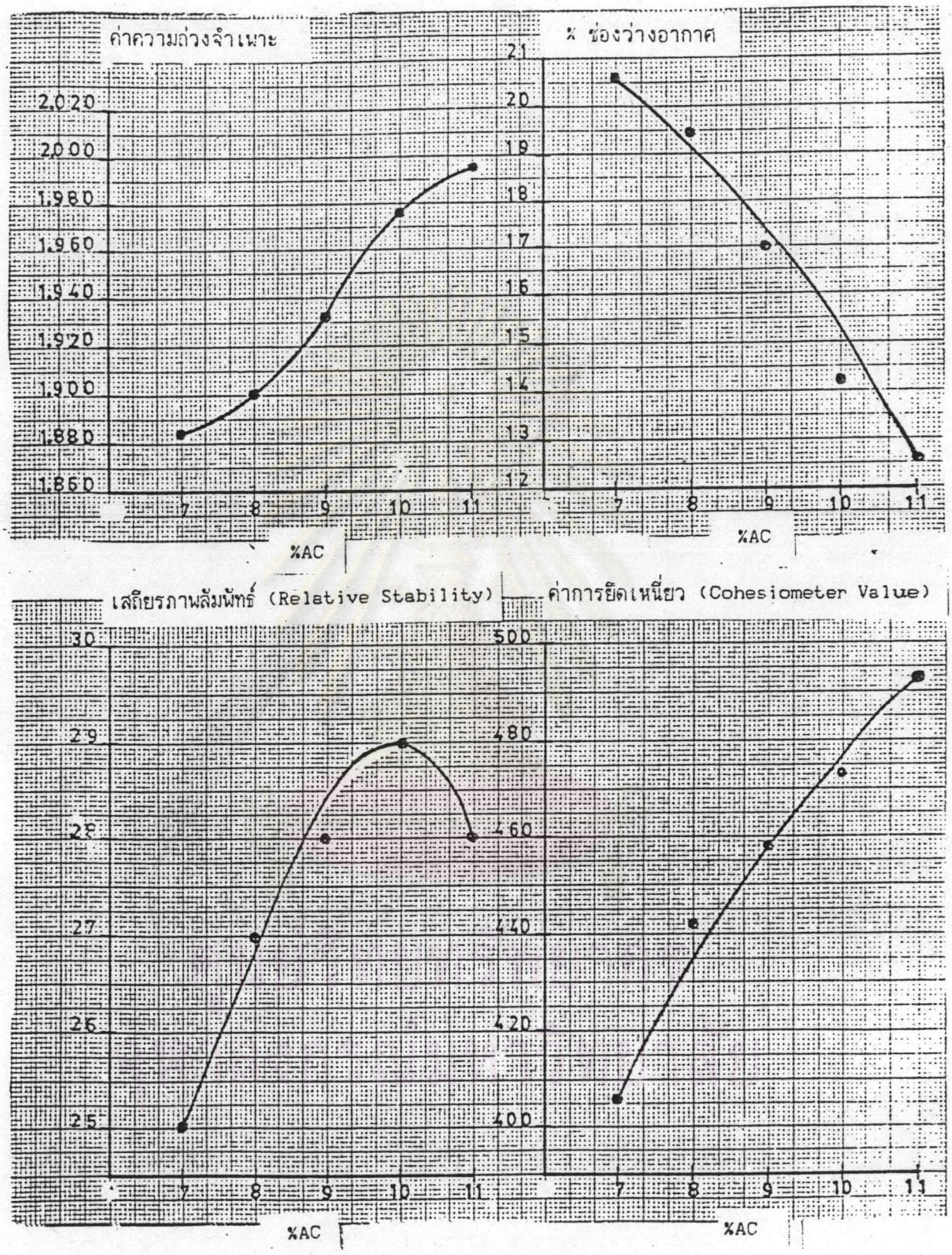


ภาพที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ (Relative Stability) แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสาร EVA และจำนวนวันที่บ่มที่ 60 °ซ. ของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ทำจากหินคลุก

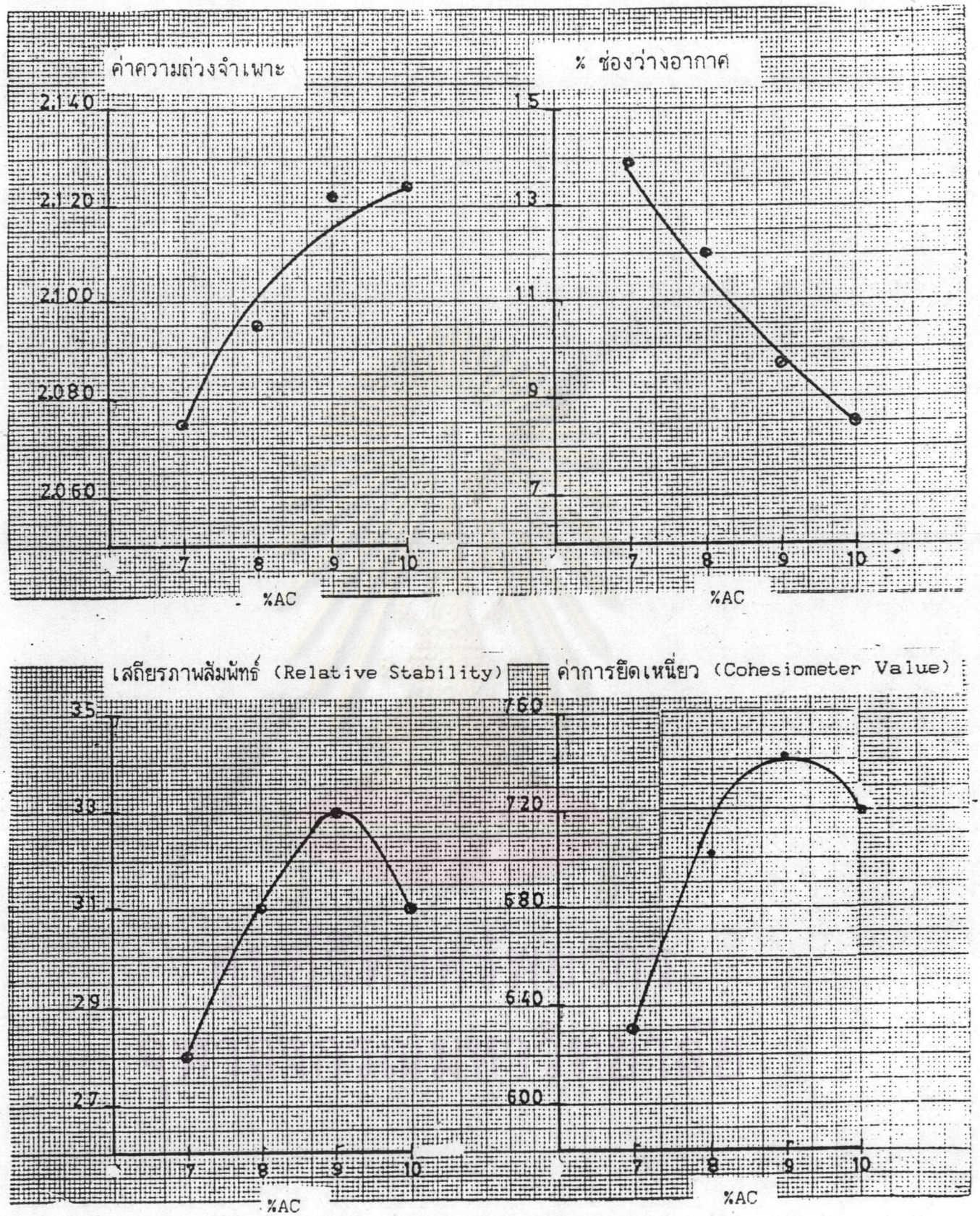


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value) กับปริมาณการผสมสาร EVA และจำนวนวันที่บ่มที่ 6ฮ ซ. ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำจากหินคลุก



ภาพที่ 5.15 แสดงการประเมินหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับดิน Silty Caly ผสมหินคลุก 20% จากคุณสมบัติค่าปริมาณช่องว่างอากาศ (Air Void), ค่าเสถียรภาพสัมพันธ์ (Relative Stability) และค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value)

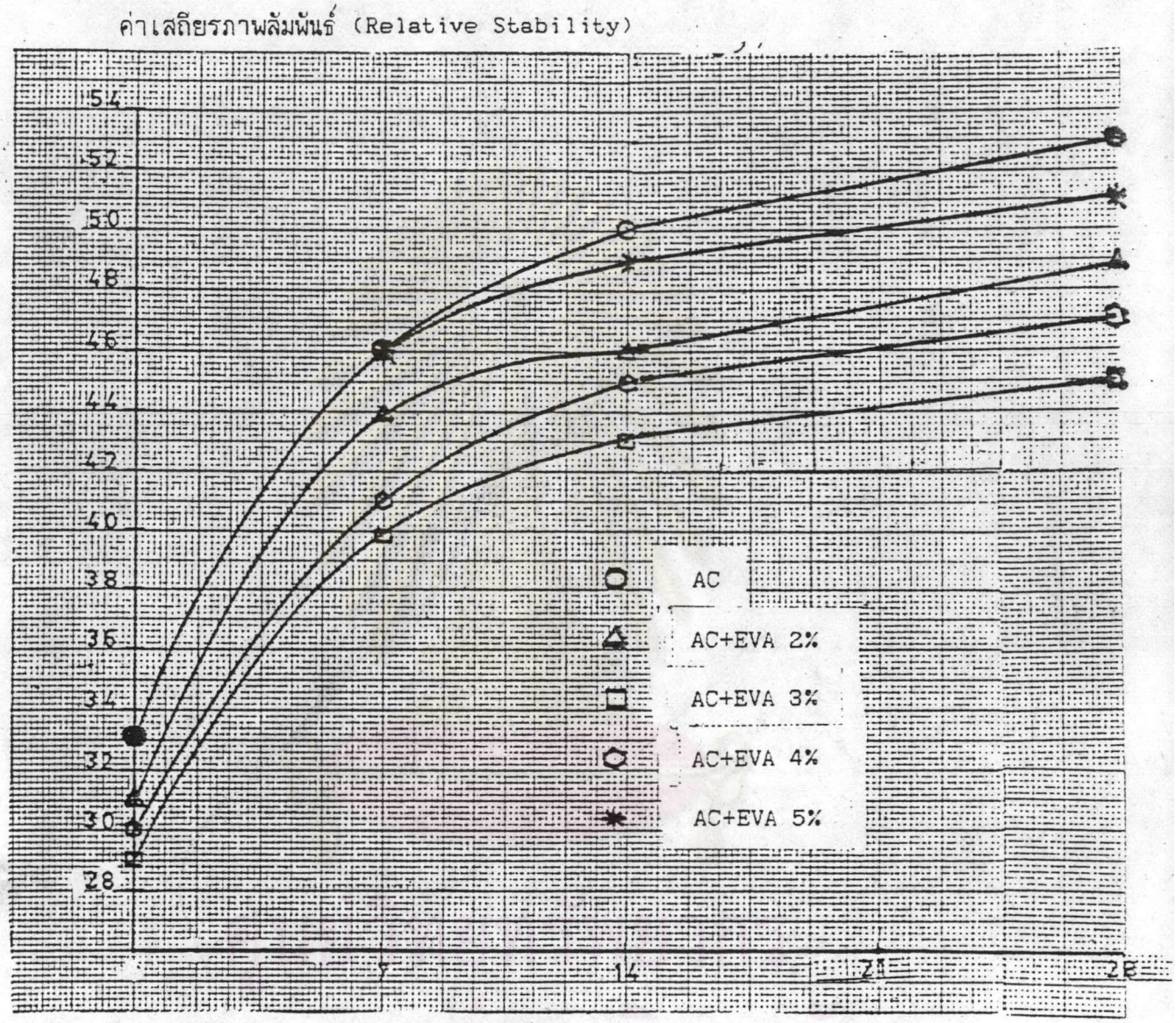


ภาพที่ 5.16 แสดงการประเมินหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับดิน Silty Caly ผสมหินคลุก 30% จากคุณสมบัติค่าปริมาณช่องว่างอากาศ (Air Void), ค่าเสถียรภาพลัมพันธ์ (Relative Stability) และค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value)

ที่เหมาะสม และให้ค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์นี้ในการเปรียบเทียบผลระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอ 2-5% กับที่ไม่ผสม ผลการทดลองปรากฏว่า ค่าเสถียรภาพลัมพัทธ์สูงสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดาเท่ากับ 33 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 29 ค่าการยืดเหนี่ยวจะสูงสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดาเท่ากับ 742.3 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 2% เท่ากับ 656.8 เมื่อทำการบ่มตัวอย่างก่อนทดสอบ 7, 14 และ 28 วัน ผลการทดลองปรากฏดังภาพที่ 5.17 และ 5.18 และภาพแรกเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพ กับจำนวนวันที่บ่ม และปริมาณการผสมสารอีวีเอ ภาพที่สอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดเหนี่ยวกับจำนวนวันที่บ่มและปริมาณการผสมสารอีวีเอของดิน Silty Clay ผสมหินคลุก 30% และที่การบ่ม 7 วันค่าเสถียรภาพลัมพัทธ์สูงสุดที่แอสฟัลต์ธรรมดาเท่ากับ 46 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 40 ส่วนค่าการ ยืดเหนี่ยวจะสูงสุดที่แอสฟัลต์ธรรมดา เท่ากับ 896.2 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 757.3 ที่การบ่ม 14 วันค่าเสถียรภาพลัมพัทธ์สูงสุดที่แอสฟัลต์ธรรมดาเท่ากับ 50 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 43 ส่วนค่าการยืดเหนี่ยวสูงสุดที่แอสฟัลต์ธรรมดา เท่ากับ 978.3 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 813.9 ที่การบ่ม 28 วันค่าเสถียรภาพลัมพัทธ์สูงสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดาเท่ากับ 53 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% ส่วนค่าการยืดเหนี่ยวสูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ 5% เท่ากับ 1018.7 และต่ำสุดที่การผสมสาร อีวีเอ 3% เท่ากับ 928.2 การทดลองที่อุณหภูมิ 25 °ซ. ปรากฏว่าค่าเสถียรภาพลัมพัทธ์สูงสุด ที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 44 และต่ำสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดาเท่ากับ 37 ส่วนค่า การยืดเหนี่ยวสูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ 4% เท่ากับ 1381.2 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 2% เท่ากับ 1303.2

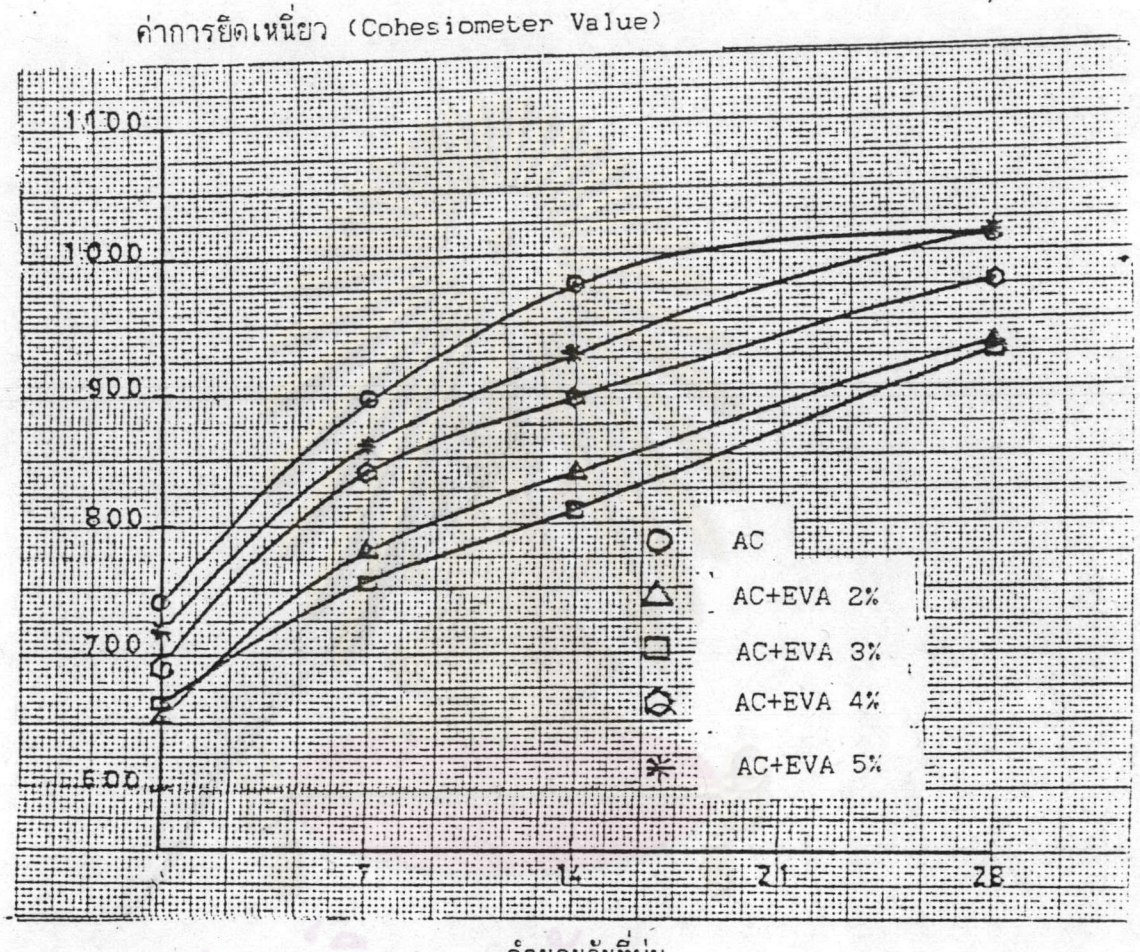
5.2.3 มวลรวมประเภทดิน Sily Sand เป็นวัสดุหลักของแอสฟัลต์คอนกรีต มวลดินประเภทดิน Silty Sand ได้จากการจัดขนาดคละให้จัดตามมาตรฐาน Soil-Aggregate ของ ASTM ตามตารางที่ 3.1 โดยใช้วัสดุดิน Silty Clay ผสมกับทราย จากนั้นทำการปรับปรุงด้วยหินคลุกขนาด 1/2 นิ้ว ประมาณ 30% โดยน้ำหนักดิน ทั้งนี้เพื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองของวัสดุดิน Silty Clay

ผลการทดลองการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต ปรากฏดังภาพที่ 5.19 ทั้งนี้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ตาราง 2.23 ปรากฏว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 8% โดยน้ำหนักมวลรวม ค่าเสถียรภาพลัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 35 และได้ค่าการยืดเหนี่ยวเท่ากับ



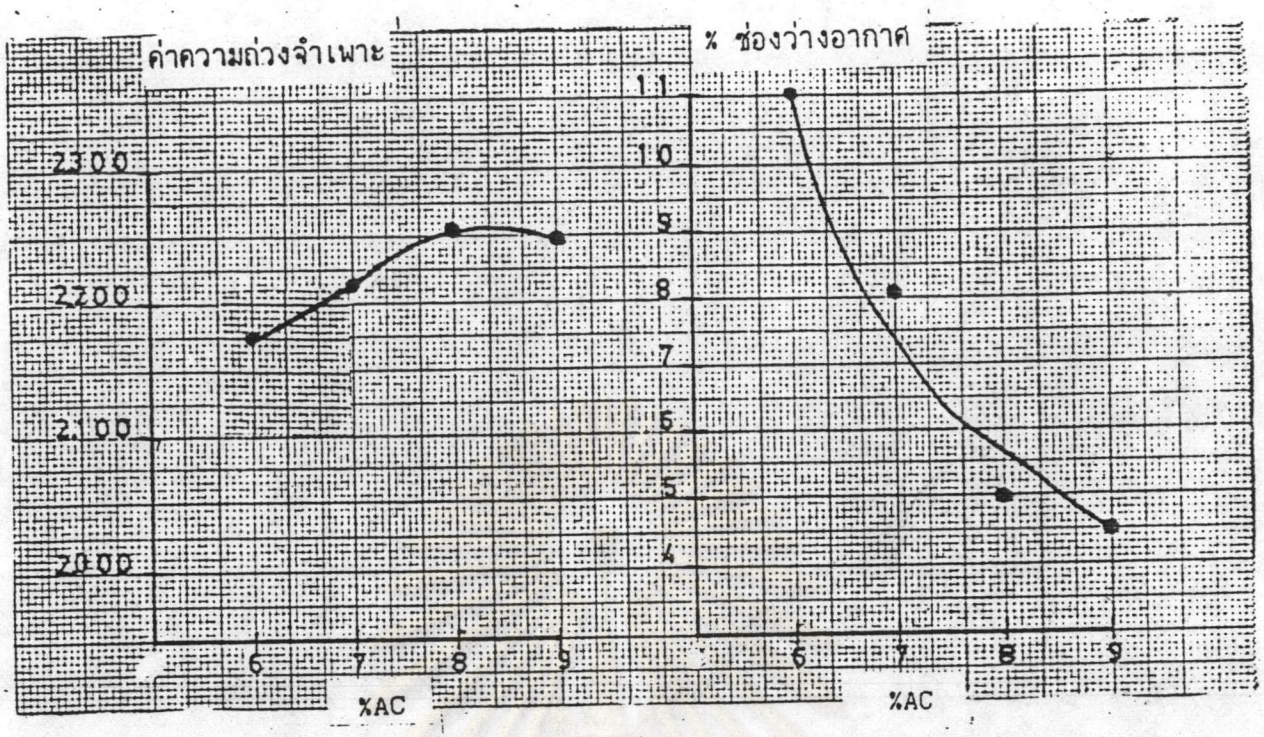
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

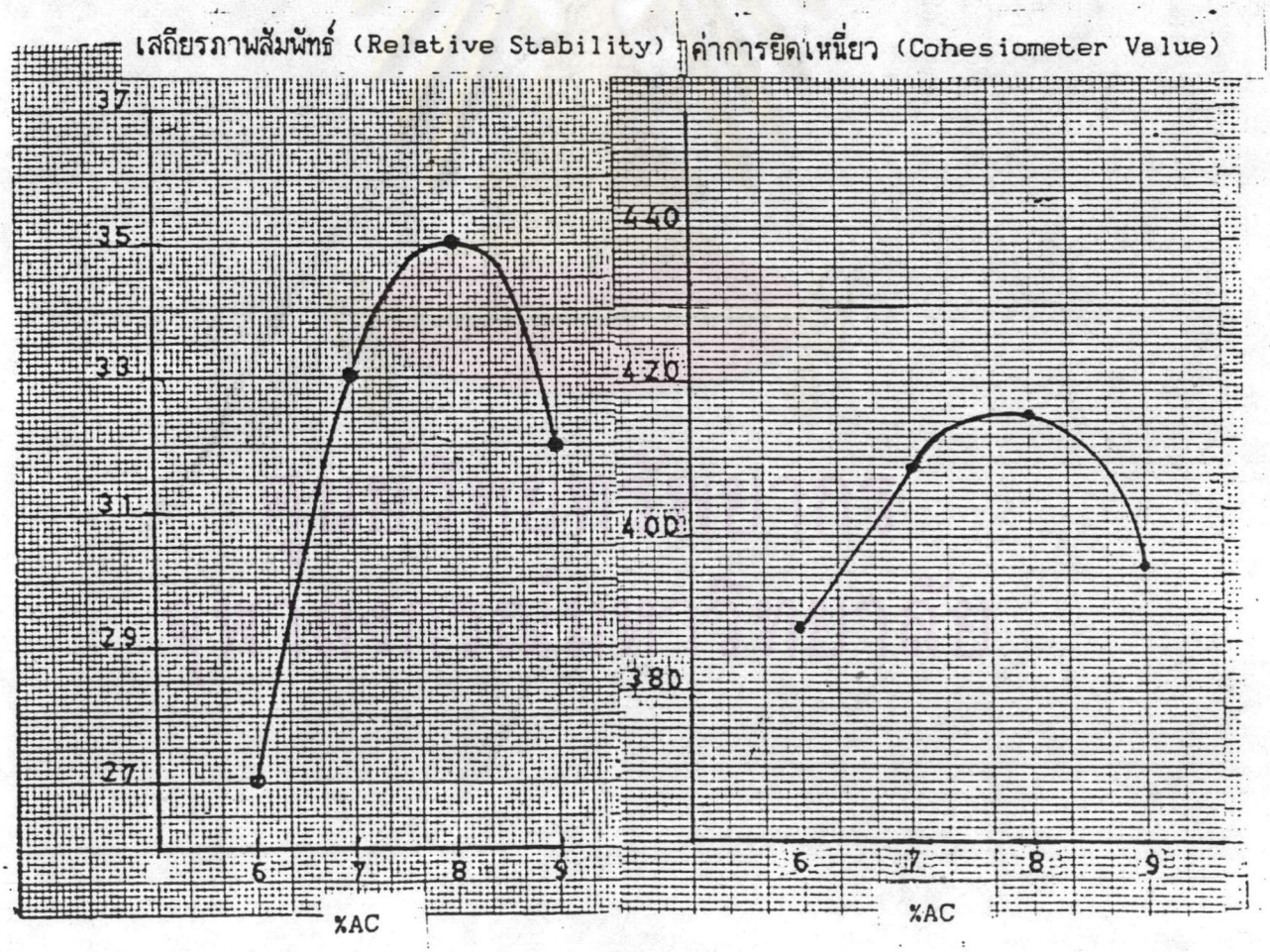
ภาพที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ (Relative Stability) กับค่าปริมาณสาร EVA ผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ และจำนวนวันที่บ่มที่ 60 ซ. ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำจากดิน Silty Clay ผสมหินคลุก 30%



ภาพที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value) กับปริมาณสาร EVA ผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ และจำนวนวันที่บ่มที่ 60 ซ. ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำจากดิน Silty Clay ผสมหินคลุก 30%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

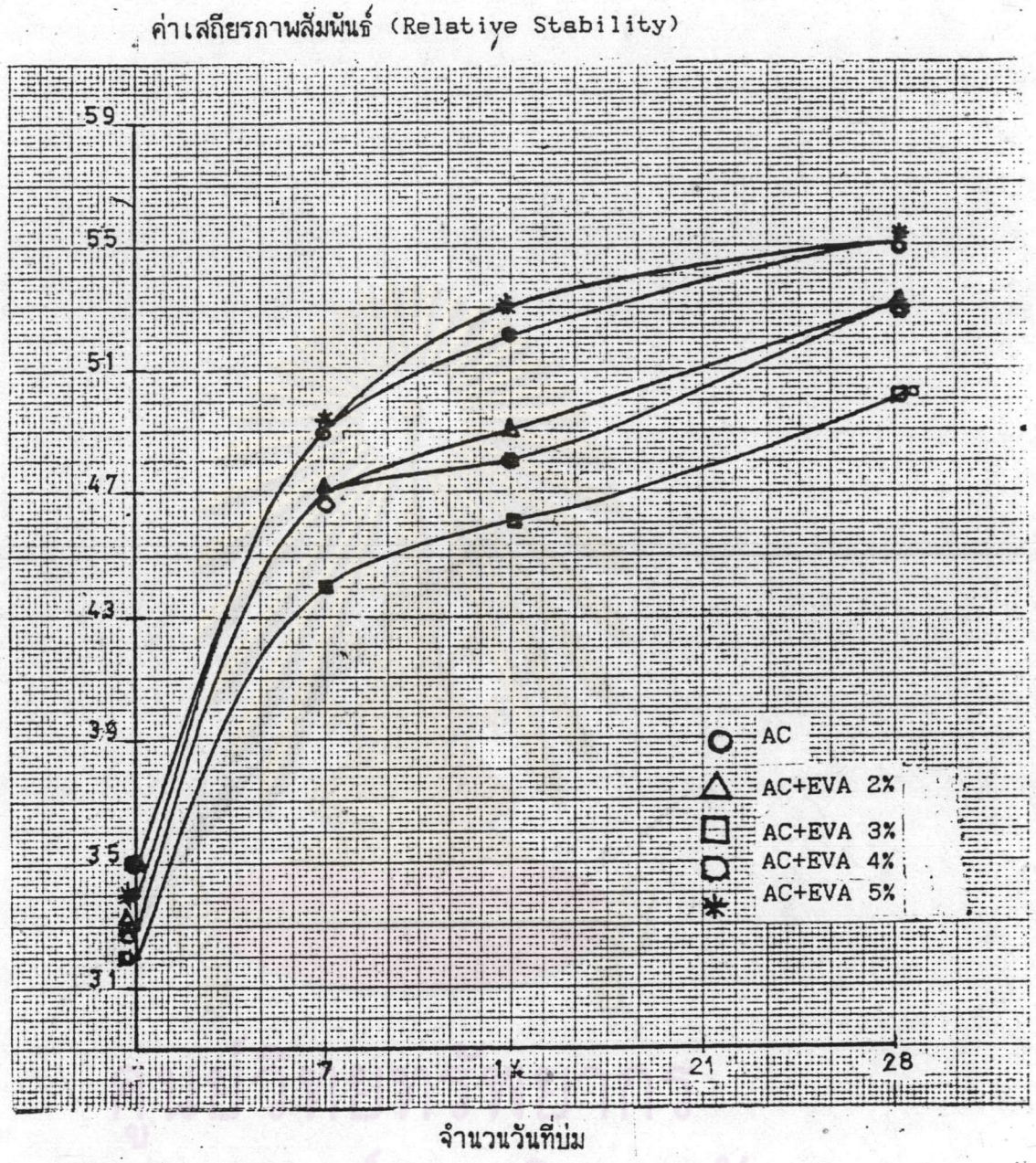




ภาพที่ 5.19 แสดงการประเมินหาค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับดิน Silty Sand ผสมหินคลุก 30% จากคุณสมบัติของปริมาณช่องว่างอากาศ (Air Void), ค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ (Relative Stability) และค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value)

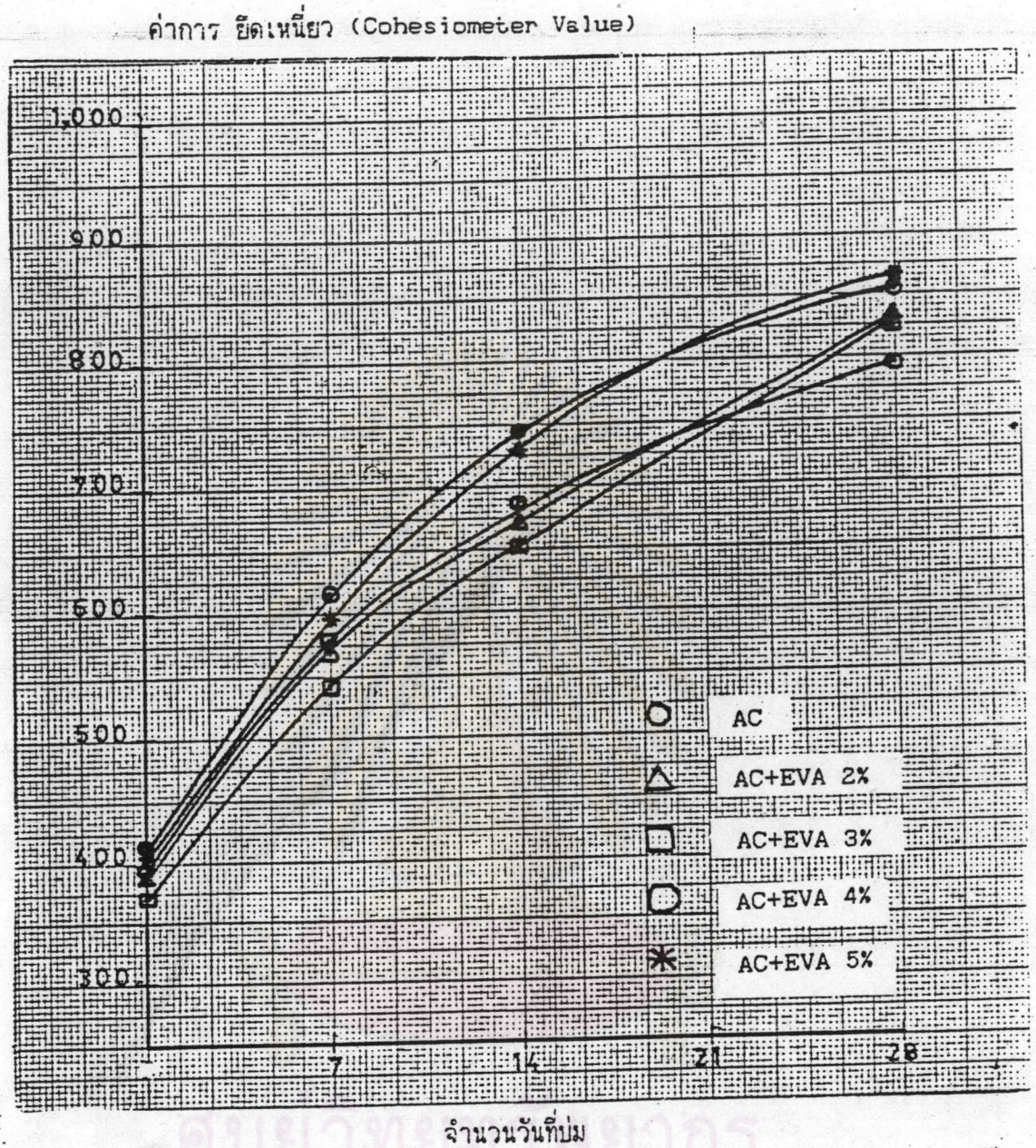
416.0 ซึ่งค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ 8% จะถูกนำไปใช้ออกแบบเปรียบเทียบผลการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีตระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอ 2-5% และไม่ผสม ปรากฏว่าค่าเสถียรภาพสูงสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ไม่ผสมสารอีวีเอ และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 32 ส่วนค่าการยืดเหนี่ยวสูงสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ไม่ผสมสารอีวีเอ และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 373.1 เมื่อทำการบ่มตัวอย่างก่อนทดสอบที่ 7, 14 และ 28 วัน ผลการทดลองค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์แสดงดังภาพที่ 5.20 และค่าการยืดเหนี่ยวแสดงดังภาพที่ 5.24 ผลการทดลองปรากฏว่าที่การบ่ม 7 วัน ค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์สูงสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับ 49 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 44 ส่วนค่าการยืดเหนี่ยวสูงสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับ 615.3 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 543.2 ที่การบ่ม 14 วันค่าเสถียรภาพสูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ 5% เท่ากับ 53 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 43 ส่วนค่าการยืดเหนี่ยวสูงสุดที่แอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับ 745.3 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 652.9 และที่การบ่ม 28 วันค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์สูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ 5% เท่ากับ 55 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 50 ส่วนค่าการยืดเหนี่ยวสูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ 5% เท่ากับ 864.6 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% เท่ากับ 325.4 นอกจากนี้ยังมีผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 ซ. แสดงผลการทดลองค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ดังภาพที่ 5.22 และผลการทดลองการยืดเหนียวเท่ากับ 5.23 อีกทั้งสรุปผลการทดลองดังกล่าวไว้ที่ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองปรากฏว่าค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์สูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ 5% เท่ากับ 50 และต่ำสุดที่การแอสฟัลต์ซีเมนต์ เท่ากับ 44 ส่วนค่าการยืดเหนี่ยวสูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ 4% เท่ากับ 1063.9 และต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 2% เท่ากับ 998.8

นอกจากนี้จากผลการทดลองหาค่าการพองตัว (Swell) ภายหลังการแช่น้ำปรากฏว่าทุกตัวอย่างมีค่าการพองตัวที่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด (<0.030") อย่างมาก จนแทบไม่มีเปลี่ยนแปลงปริมารตรเกิดขึ้น



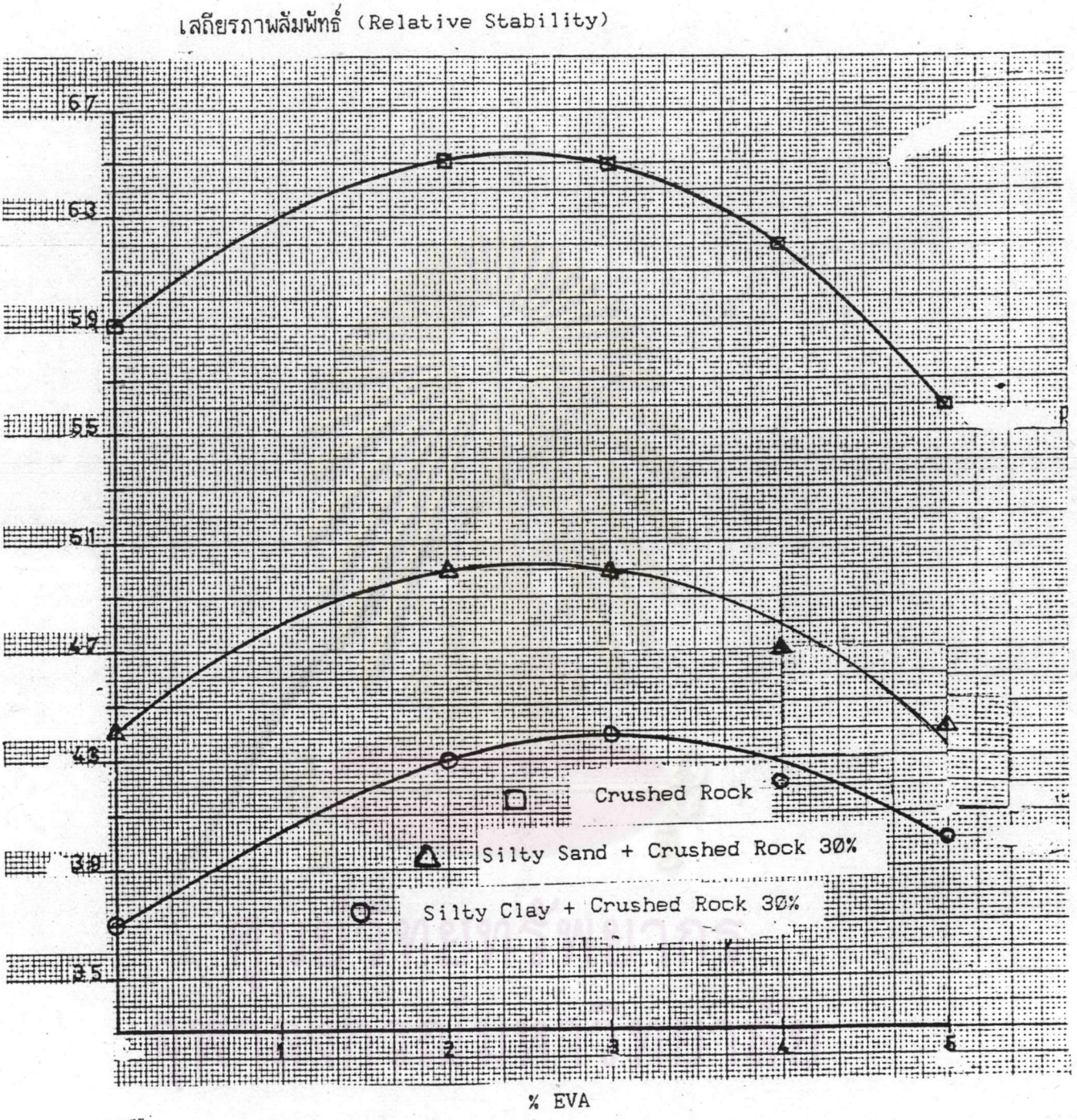
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ (Relative Stability) กับค่าปริมาณสาร EVA ผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ และจำนวนวันที่บ่มที่ 60 ซ. ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำจากดิน Silty Sand ผสมหินคลุก 30%

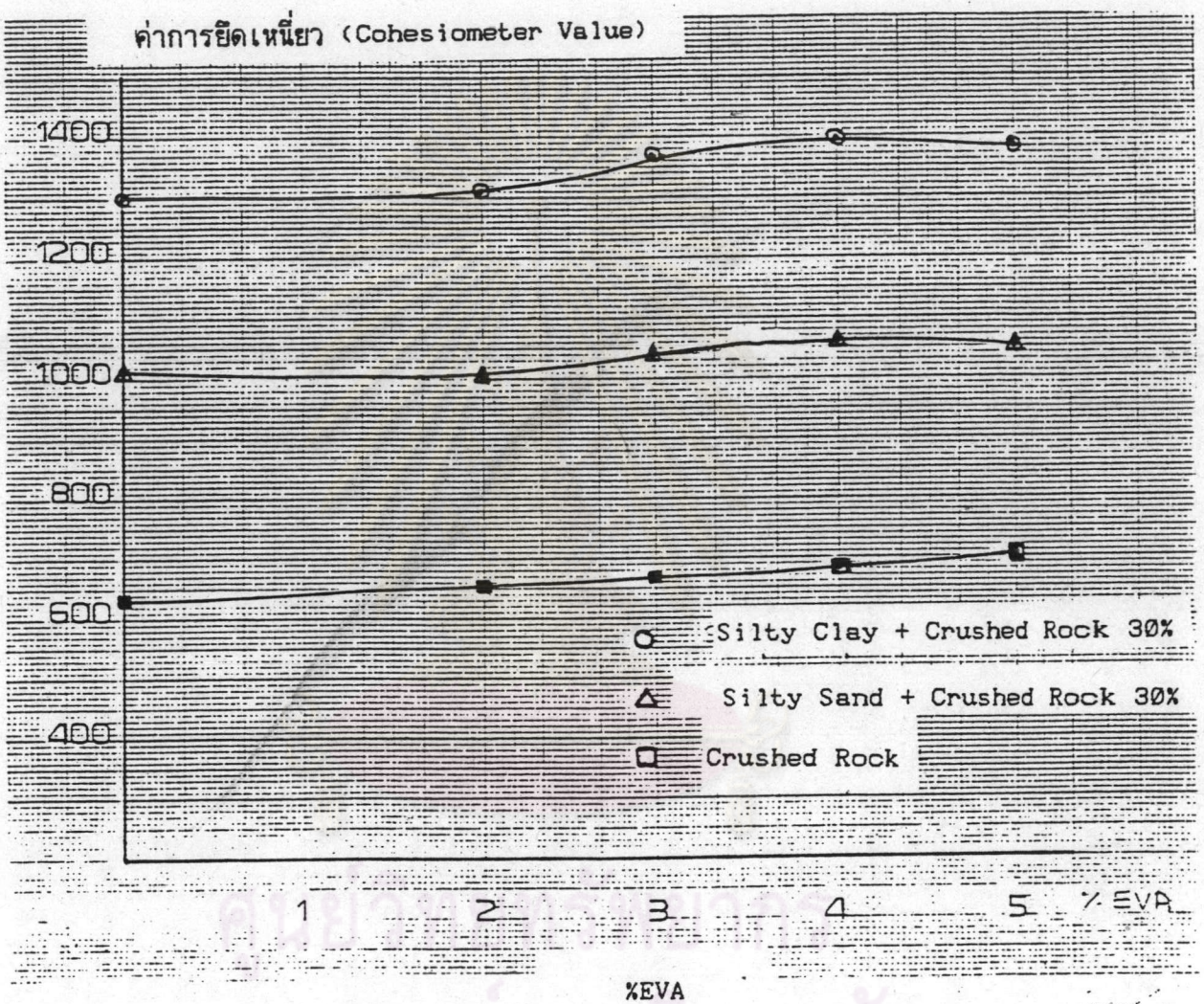


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value) กับค่าปริมาณสาร EVA ผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ และจำนวนวันที่บ่มที่ 60 °ซ. ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำจากดิน Silty Sand ผสมหินคลุก 30%



ภาพที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ (Relative Stability) ที่ 25 ซ. กับ ปริมาณสาร EVA ผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ ของวัสดุหินคลุก (Crushed Rock), ดิน Silty Sand ผสมหินคลุก 30% และดิน Silty Clay ผสมหินคลุก 30%



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value) ที่ 25 °ซ. กับปริมาณสาร EVA ผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ ของวัสดุหินคลุก (Crushed Rock), ดิน Silty Sand ผสมหินคลุก 30% และดิน Silty Sand ผสมหินคลุก 30%