

บทที่ ๓

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผสมของทรายชายฝั่งทะเลและยางมะตอยน้ำ  
ที่มีและไม่มีสารผสมเพิ่ม

๓.๑ ปริมาณน้ำและความชื้น ที่ใช้ในการบดอัดวัสดุผสม

เนื่องจากยางมะตอยน้ำมีคุณสมบัติในการจับตัวกับวัสดุที่เปียกชื้นได้ (๑๗)  
ขณะทำการบดอัด ดังนั้นการผสมทรายกับยางมะตอยน้ำ ทรายจะต้องมีปริมาณน้ำจำนวน  
หนึ่งทีเพียงพอที่จะเคลือบคลุมเม็ดทราย เพื่อให้ยางมะตอยน้ำแผ่กระจายได้ทั่วถึง และ  
ยางมะตอยน้ำจะแตกตัวจับกับเม็ดทรายโคสม่าเสมอ (๑๗) , (๑๘) , (๒๑) , (๒๓)  
มีฉะนั้นยางมะตอยน้ำจะจับตัวกับเม็ดทรายส่วนที่เปียกชื้นเป็นจุด ๆ แต่การโซปริมาณน้ำ  
มากเกินไปยางมะตอยจะจับตัวกับทรายไม่มั่นคงเพียงพอ หรือถ้าใช้เวลาในการผสมนาน  
เกินไปก็อาจทำให้เกิดการหลุดลอก (Stripping) ของยางมะตอยได้ (๘) ดังนั้น  
จึงต้องทำการทดลองหาปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ทำให้วัสดุหลังจากการผสมเรียบร้อยแล้ว  
มีลักษณะของยางมะตอยกระจายอยู่ทั่วไป ยางมะตอยไม่แยกตัวออกเป็นกลุ่มเป็นก้อนและ  
การจับตัวของยางมะตอยและทรายเป็นไปอย่างสม่ำเสมอซึ่งอาจดูได้จากสีของวัสดุหลังจาก  
การผสม การทดลองหาปริมาณน้ำในการผสมของส่วนผสมชนิดต่าง ๆ อาจใช้วิธี Trial  
and error ตารางที่ ๖ แสดงปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมของส่วนผสมชนิดต่าง ๆ กัน  
ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อผสมทรายกับยางมะตอยน้ำ ๒ % จะต้องใช้ปริมาณน้ำในการผสม ๑๗ %  
แต่เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมจะลดลงเรื่อย ๆ จนเหลือ  
๑๓% เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้นถึง ๖%

ในการผสมของวัสดุผสมที่มีทราย, ปูนขาว และยางมะตอยน้ำใช้ผสมทราย  
กับปูนขาวก่อนแล้วจึงนำส่วนผสมมาเติมน้ำ เมื่อผสมเข้ากันดีแล้วจึงผสมยางมะตอยน้ำ  
ในขั้นสุดท้าย ในขณะที่ทำการผสมปูนขาวจะเริ่มทำปฏิกิริยาทางเคมีกับทรายและเป็นผลให้  
ปูนขาวจับอยู่ที่ผิวหน้าของทรายทำให้เม็ดทรายที่เคลือบคลุมด้วยปูนขาวที่ขนาดเม็ดที่ใหญ่ขึ้น

กว่าเดิม ดังนั้น ถ้า Specific Surface หรือปริมาณพื้นที่ผิวต่อ ๑ หน่วยน้ำหนัก มีค่าลดลง ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้เคลือบคลุมผิวหน้าของทรายและปูนขาวเมื่อผสมก็ย่อมลดลงน้ำจึงน้อยกว่าวัสดุผสมของทรายและยางมะตอยน้ำ เมื่อมีปริมาณยางมะตอยน้ำในวัสดุผสมเท่ากัน ก็จะเห็นได้จากการเปรียบเทียบวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนขาว ๓% และ ๔% จะเห็นได้จากการทดลองว่าส่วนผสมที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำเท่ากัน ส่วนผสมที่มีปูนขาว ๔% จะต้องการปริมาณน้ำในการผสมน้อยกว่าส่วนผสมที่มีปูนขาว ๓% ส่วนผสมที่มีปูนขาว ๔% จะมีปริมาณปูนขาวมากกว่าทำให้การจับตัวของทรายและปูนขาวมีขนาดเม็ดใหญ่กว่าและมี Specific Surface น้อยกว่า ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการเคลือบคลุมผิวหน้าของทรายและปูนขาวจึงมีปริมาณน้อยกว่าส่วนผสมที่มีปูนขาว ๓% ปูนขาวส่วนที่เหลือจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับยางมะตอยน้ำ ทำให้ยางมะตอยน้ำแตกตัวและยึดเกาะกับปูนขาวที่ผิวหน้าของทรายได้ดียิ่งขึ้น และด้วยเหตุที่ปูนขาวเป็นสารตัว Anti Stripping มีคุณสมบัติต้านทานการเกิด Stripping หรือการหลุดลอกของยางมะตอยในวัสดุผสมได้ (๒๖), (๒๗)

วัสดุผสมที่มีปูนขาวผสมรวมอยู่ด้วย เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้นจะต้องการปริมาณน้ำในการผสมน้อยลง และเหตุผลที่ปริมาณน้ำในการผสมน้อยลงเมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำในวัสดุผสมเพิ่มขึ้นเป็นเช่นนี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการผสมทรายและยางมะตอยน้ำ

การบดอัดทรายและส่วนผสมชนิดต่าง ๆ ของทรายภายหลังจากการผสมเรียบร้อยแล้วเป็นสิ่งจำเป็นในการทำให้วัสดุมีความหนาแน่นมากขึ้น การบดอัดวัสดุผสมของทรายและยางมะตอยน้ำอาจทำได้หลายวิธี แต่โดยทั่วไปนิยมใช้วิธีการของ Chevron Asphalt Company (๘) โดยใช้วิธีการบดอัดแบบ Kneading ที่ความดันในการบดอัด ๕๐๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แต่ในการวิจัยครั้งนี้ อาจทำการบดอัดวัสดุผสมด้วยความดัน ๕๐๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพื่อหาความดันสูงสุดที่สามารถบดอัดวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ โดยได้ทำการทดลองการบดอัดวัสดุผสมตามวิธีการของ Chevron Asphalt Company (๘) แต่เปลี่ยนมาใช้ความดันเริ่มต้นใน

การบดอัด ๑๕๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แล้วเพิ่มความดันขึ้นไปเรื่อย ๆ ทีละ ๑๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จนกระทั่งถึงความดันสูงสุดที่ผิวหน้าของวัสดุตัวอย่างถูกกดค่าลงไม่เกิน ๐.๒๕ นิ้ว (๗) ความสัมพันธ์ระหว่าง % ยางมะตอยน้ำในวัสดุผสมและความดันที่ใช้ในการบดอัดแสดงไว้ในตารางที่ ๗ จึงจะเห็นได้ว่าทรายสามารถทำการบดอัดได้ ที่ความดันไม่เกิน ๑๕๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แต่เมื่อผสมทรายกับยางมะตอยน้ำ ความดันสูงสุดในการบดอัดจะเพิ่มขึ้น ตามเปอร์เซ็นต์ของยางมะตอยน้ำและเมื่อวัสดุผสมมีปริมาณยางมะตอยน้ำถึง ๖ % ก็สามารรถที่จะทำการบดอัดได้ด้วยความดันสูงสุดถึง ๒๕๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทั้งนี้เนื่องจากยางมะตอยในวัสดุผสมจะช่วยการหล่อลื่น

(Lubrication) ในการเคลื่อนตัวและการจัดตัว (Particle Orientation) ของเม็ดทราย เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำในวัสดุผสมมากขึ้นจะมีปริมาณยางมะตอยที่ผิวสัมผัสระหว่างเม็ดทรายมากขึ้น ทำให้รับความดันสูงสุดในการบดอัดวัสดุผสมของทรายและยางมะตอยน้ำสูงขึ้น

## ตารางที่ ๓

ความดันสูงสุดที่สามารถบอกอัตราส่วนสมทราญและยางมะตอยน้ำ

% ยางมะตอยน้ำ	ความดันสูงสุด, ปอนด์กต่อตารางนิ้ว
๑	๑๕๐
๒	๒๑๐
๓	๒๒๐
๔	๒๓๐
๕	๒๔๐
๖	๒๕๐



### ๓.๒ ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและความหนาแน่นของวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ

การบดอัดวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ ของทรายชายฝั่งทะเล ทำตามวิธีการของ Chevron Asphalt Company (๕) แต่วัสดุผสมชนิดต่าง ๆ ของทรายชายฝั่งทะเลไม่สามารถทำการบดอัดแบบ Kneading ได้ที่ความดัน ๕๐๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ ๓.๑ ดังนั้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ ของทรายชายฝั่งทะเล การบดอัดจึงเลือกความดันที่ ๑๕๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และบดอัดตัวอย่าง ๑๕๐ ครั้ง ผลการทดลอง จากรูปที่ ๖, ๗, ๘, ๙ และ ๑๐ ซึ่งได้แสดงเส้นโค้งของความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและความหนาแน่นของส่วนผสมชนิดต่าง ๆ ของทรายชายฝั่งทะเล

จากรูปที่ ๖ ความหนาแน่นสูงสุดของวัสดุผสมของทรายชายฝั่งทะเลและยางมะตอยน้ำ มีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นที่ปริมาณความชื้นลดลงเมื่อมีปริมาณยางมะตอยน้ำในวัสดุผสมเพิ่มมากขึ้นในช่วงปริมาณยางมะตอยน้ำ ๐% ถึง ๖% การเปลี่ยนแปลงในลักษณะดังกล่าวอาจอธิบายได้ว่า ที่ปริมาณยางมะตอยน้ำน้อยกว่า ๒.๑๗% หรือปริมาณยางมะตอยน้ำน้อยที่สุดที่เคลือบคลุมผิวหน้าเม็ดทรายใต้ออกี (ดูจากรายการคำนวณใน หัวข้อที่ ๒.๓) ยางมะตอยจะเคลือบคลุมผิวหน้าบางส่วนของเม็ดทรายใต้ออกี และผิวของยางมะตอยจะทำหน้าที่ช่วยหล่อลื่นการเคลื่อนตัว (Particle Movement) ของเม็ดทราย ทำให้ทรายมีการจัดเรียงเม็ด (Particle Orientation) ดีขึ้น ค่าความหนาแน่นสูงสุดเมื่อแห้ง (Maximum Dry Density) มีค่าเพิ่มขึ้น และเนื่องจากยางมะตอยช่วยในการหล่อลื่น ความต้องการปริมาณน้ำเพื่อใช้ในการเคลื่อนตัวของเม็ดทรายเพื่อให้เกิดความชื้นที่ความหนาแน่นสูงสุดเมื่อแห้ง (Optimum Water Content หรือ O.M.C.) จึงมีปริมาณลดน้อยลงเมื่อเทียบกับทรายที่ไม่มียางมะตอยน้ำในวัสดุตัวอย่าง

รูปที่ ๗ แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและความหนาแน่นของทรายชายฝั่งทะเลที่ผสมกับปูนขาวและยางมะตอยน้ำ เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำในการผสม

มีไม่เพียงพอ ที่จะเคลือบคลุมผิวหน้าของวัสดุสมทรายและปูนขาว (< ๒.๑๓ % เพราะ  
 เม็ดของวัสดุสมทรายและปูนขาวมีขนาดใหญ่กว่าทราย จึงมีพื้นที่ผิวหน้าของ เม็ดต่อหนึ่ง  
 หน่วยน้ำหนักน้อยกว่า) วัสดุผสมที่มีปริมาณปูนขาวมากกว่า จะจับผิวหน้าของทรายมากกว่า  
 จึงทำให้ขนาดเม็ดใหญ่กว่า พื้นที่ผิวหน้าของ เม็ดต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมที่มีปริมาณ  
 ปูนขาวมากกว่า จึงน้อยกว่า ทำให้ยางมะตอยสามารถหอดันการเคลื่อนตัวของเม็ดวัสดุ  
 เป็นไปไคคึกกว่าจึงมีการจัดเรียงเม็ดคึกกว่า ทำให้ S-4L-1E มีความหนาแน่นเมื่อแห้งสูง  
 กว่า ที่ปริมาณความชื้นน้อยกว่า S-3L-1E แต่เมื่อปริมาณยางมะตอยนำมากกว่าปริมาณ  
 ยางมะตอยนำในวัสดุผสมมีเพียงพอที่จะเคลือบคลุมผิวหน้าของทรายและปูนขาวไคทั่วถึง  
 วัสดุผสมที่มีปริมาณปูนขาวสูงกว่าจะมีความหนาแน่น เมื่อแห้งต่ำกว่าและปริมาณความชื้นสูงสุด  
 สูงกว่า เนื่องจากวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนขาวน้อยกว่ามีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักมากกว่า  
 ทำให้ฟิล์มยางมะตอยจับที่ผิวหน้าวัสดุผสมมากกว่า จึงลดระยะห่างระหว่างเม็ด เป็นผล  
 ให้อัศราของว่างระหว่างเม็ดมีค่าต่ำกว่า

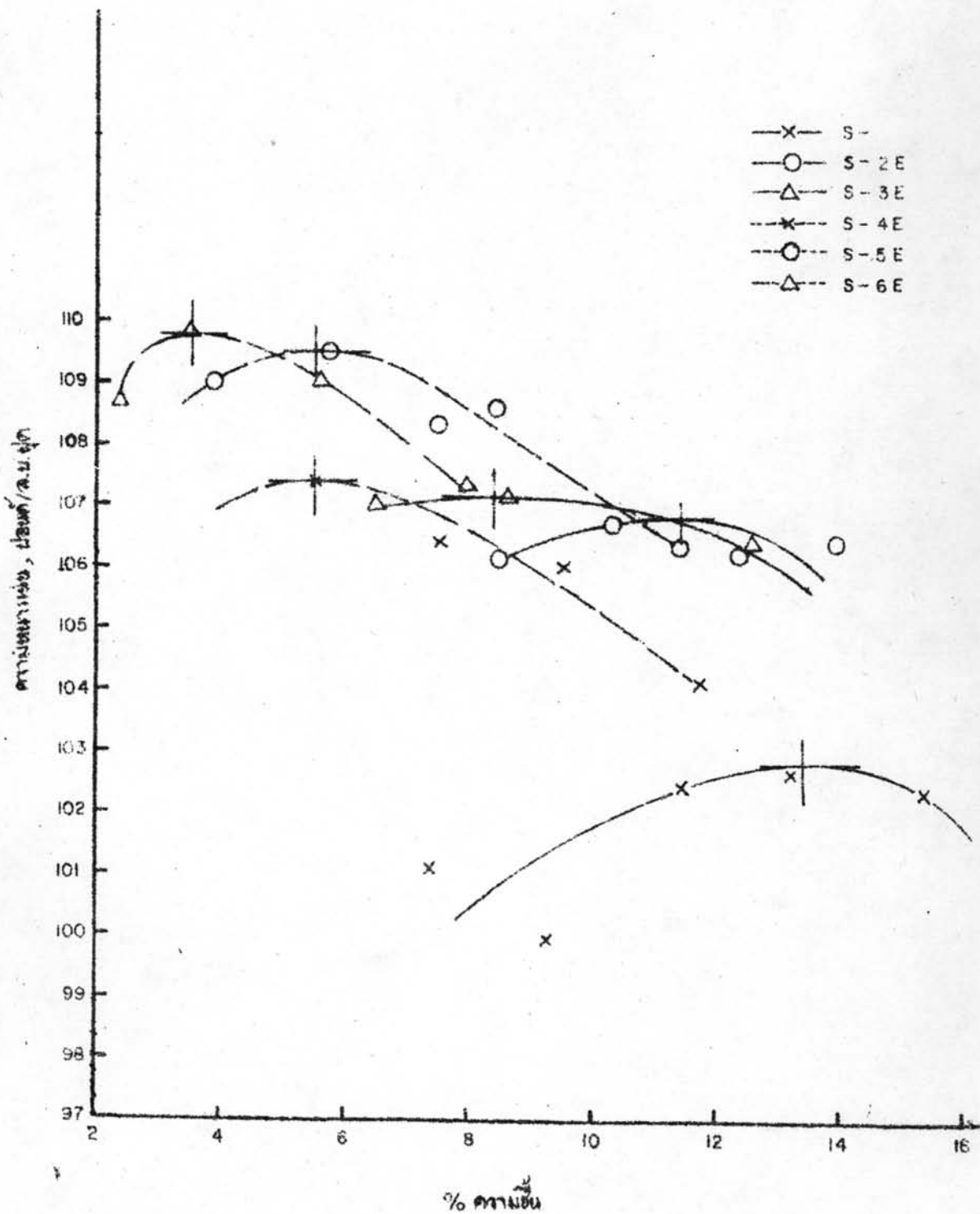
เมื่อเปรียบเทียบส่วนผสมที่มีปริมาณยางมะตอยนำต่าง ๆ กัน ส่วนผสมที่มี  
 ปริมาณปูนขาว ๓ % และ ๔ % เมื่อมีปริมาณยางมะตอยนำเพิ่มขึ้นในช่วง ๑ % ถึง ๓ %  
 จะทำให้การเคลือบคลุมยางมะตอยที่ผิวหน้าของทรายและปูนขาวดีขึ้น คล้ายกับวัสดุผสม  
 ของทรายและยางมะตอยนำ และค่าความหนาแน่นสูงสุดเมื่อแห้งเพิ่มขึ้นที่ปริมาณความชื้น  
 น้อยลง เมื่อปริมาณยางมะตอยนำเพิ่มขึ้น

รูปที่ ๔ แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและความหนาแน่นของทราย  
 ชายฝั่งทะเลที่ผสมกับปูนซีเมนต์และยางมะตอยนำ เมื่อเปรียบเทียบส่วนผสมที่ปูนซีเมนต์ ๓  
 และ ๔% จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณยางมะตอยนำไม่เพียงพอที่จะครอบคลุม  
 ผิวหน้าเม็ดทรายก่อนที่จะนำมาผสมซีเมนต์ ทำให้ปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับผิวทราย  
 ไคมาก (S-4C-1E จะทำปฏิกิริยาไคมากกว่า S-3C-1E เนื่องจากมีปริมาณปูนซีเมนต์  
 มากกว่า) ทำให้ S-4C-1E มีขนาดเม็ดใหญ่กว่าและมีช่องว่างระหว่างเม็ดมากกว่า  
 S-3C-1E ดังนั้นความหนาแน่นสูงสุดเมื่อแห้งของ S-4C-1E จึงมีค่าน้อยกว่า S-3C-1E

และเนื่องจาก S-4C-1E มีขนาดเม็ดใหญ่กว่า S-3C-1E จึงมีปริมาณพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วย น้ำหนักน้อยกว่า ปริมาณน้ำที่จะเข้าเคลือบคลุมผิวหน้าของ S-4C-1E ที่ความหนาแน่นสูงสุด เมื่อแห้ง จึงมีปริมาณน้ำน้อยกว่า S-3C-1E ดังนั้นปริมาณน้ำหรือความชื้นที่ O.M.C. ของส่วนผสม S-4C-1E จึงมีค่าน้อยกว่า S-3C-1E แต่เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำที่ผสม กับทรายก่อนนำมาผสมซีเมนต์ปริมาณมากพอที่จะเข้าเคลือบคลุมผิวทรายได้หมด และมีฟิล์มยางมะตอยหนาขึ้น ทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับทรายได้มากขึ้น S-4C-3E จึงมีปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหลือจากปฏิกิริยามากกว่า ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหลือ จะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดมากกว่า S-3C-3E และปริมาณช่องว่างที่เหลือที่ ปริมาณน้ำจะเข้าไปช่วยในการจัดตัวของเม็ดทราย S-4C-3E จึงมีปริมาณน้อยกว่า ดังนั้น S-4C-3E จึงมีความหนาแน่นเมื่อแห้งสูงกว่าที่ปริมาณความชื้นน้อยกว่า S-3C-3E

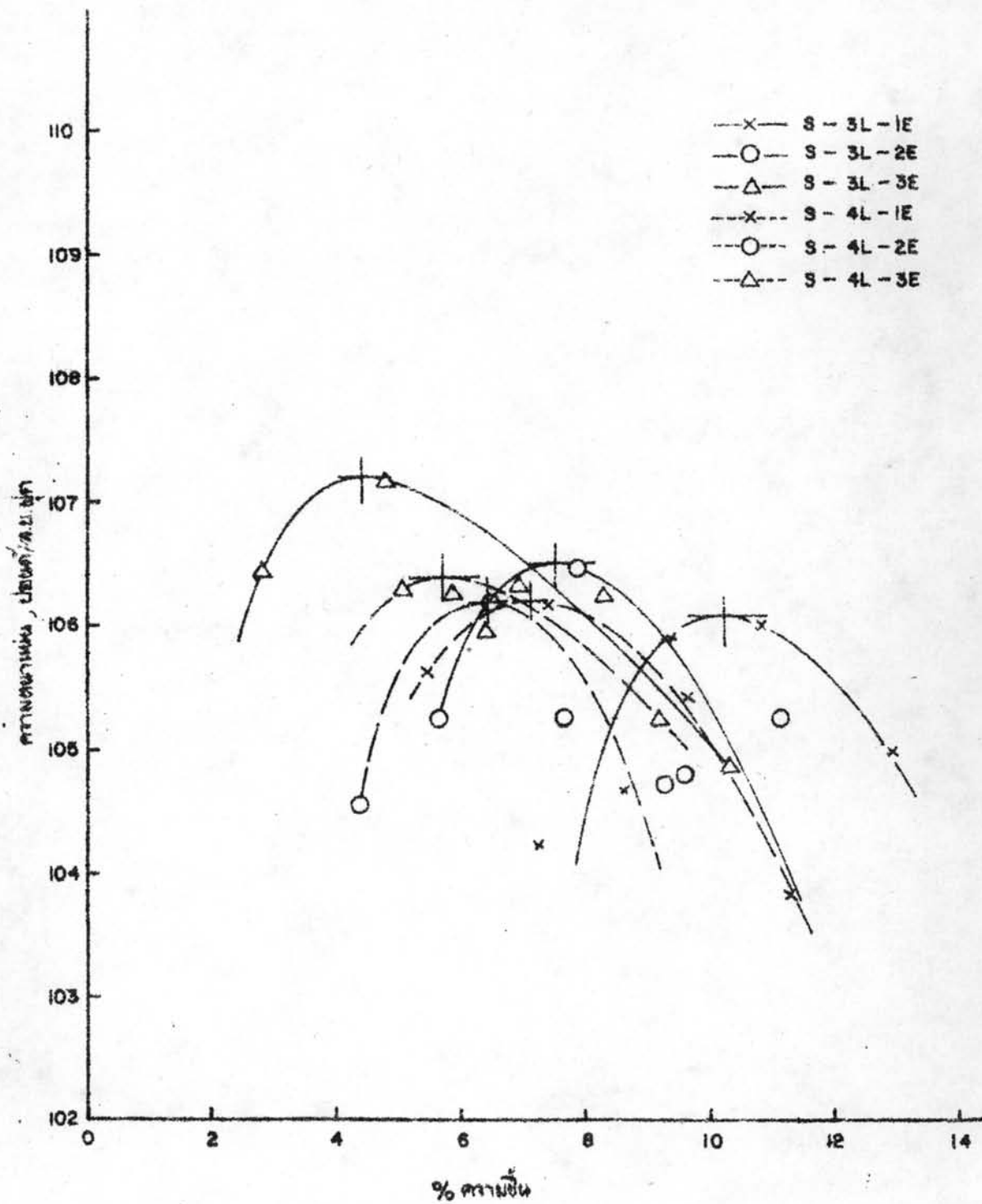
เมื่อเปรียบเทียบวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากัน แต่มีปริมาณยางมะตอย เปลี่ยนแปลง ส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ ๔ % เมื่อมีปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้นยาง มะตอยน้ำจะเข้าไปเคลือบคลุมเม็ดทรายไว้ได้มากขึ้นทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหลือจาก ปฏิกิริยาทางเคมีของทรายและปูนซีเมนต์มากขึ้น และปูนซีเมนต์ส่วนที่เหลือจะเข้าไปอยู่ ในช่องว่างระหว่างเม็ด ดังนั้นวัสดุผสมที่มีปูนซีเมนต์ ๔ % เมื่อปริมาณยางมะตอย น้ำเพิ่มขึ้นและมีค่าความหนาแน่นสูงสุดเมื่อแห้งเพิ่มขึ้น และปริมาณความชื้นที่จะเข้าช่วย ในการจัดตัวเม็ดวัสดุผสมที่ O.M.C. จะมีค่าลดลง แต่เมื่อวัสดุผสมมีปริมาณปูนซีเมนต์ ๓ % ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นสูงสุดเมื่อแห้งจะไม่เหมือนกับวัสดุผสมที่มี ปริมาณปูนซีเมนต์ ๔ % อาจดูเส้นโค้งดังกล่าวได้ใน รูปที่ ๕ ที่ปริมาณยางมะตอยน้ำ

< ๒.๑๗ % วัสดุผสม S-3C-2E จะมีความหนาแน่นสูงสุดเมื่อแห้งสูงกว่า S-3C-1E เนื่องจากวัสดุผสมที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำมากกว่าจะมีปริมาณยางมะตอย เข้าเคลือบคลุมเม็ดทรายได้มากกว่า ปริมาณปูนซีเมนต์ส่วนที่เหลือจากปฏิกิริยาทางเคมี ของปูนซีเมนต์และทรายที่จะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดจึงมีมากกว่า ดังนั้น S-3C-2E จึงมีค่าความหนาแน่นสูงสุดเมื่อแห้งสูงกว่าและมีปริมาณความชื้นที่ O.M.C. น้อยกว่า วัสดุผสม S-3C-1E และเมื่อพิจารณาปริมาณยางมะตอยน้ำ > ๒.๑๗ %

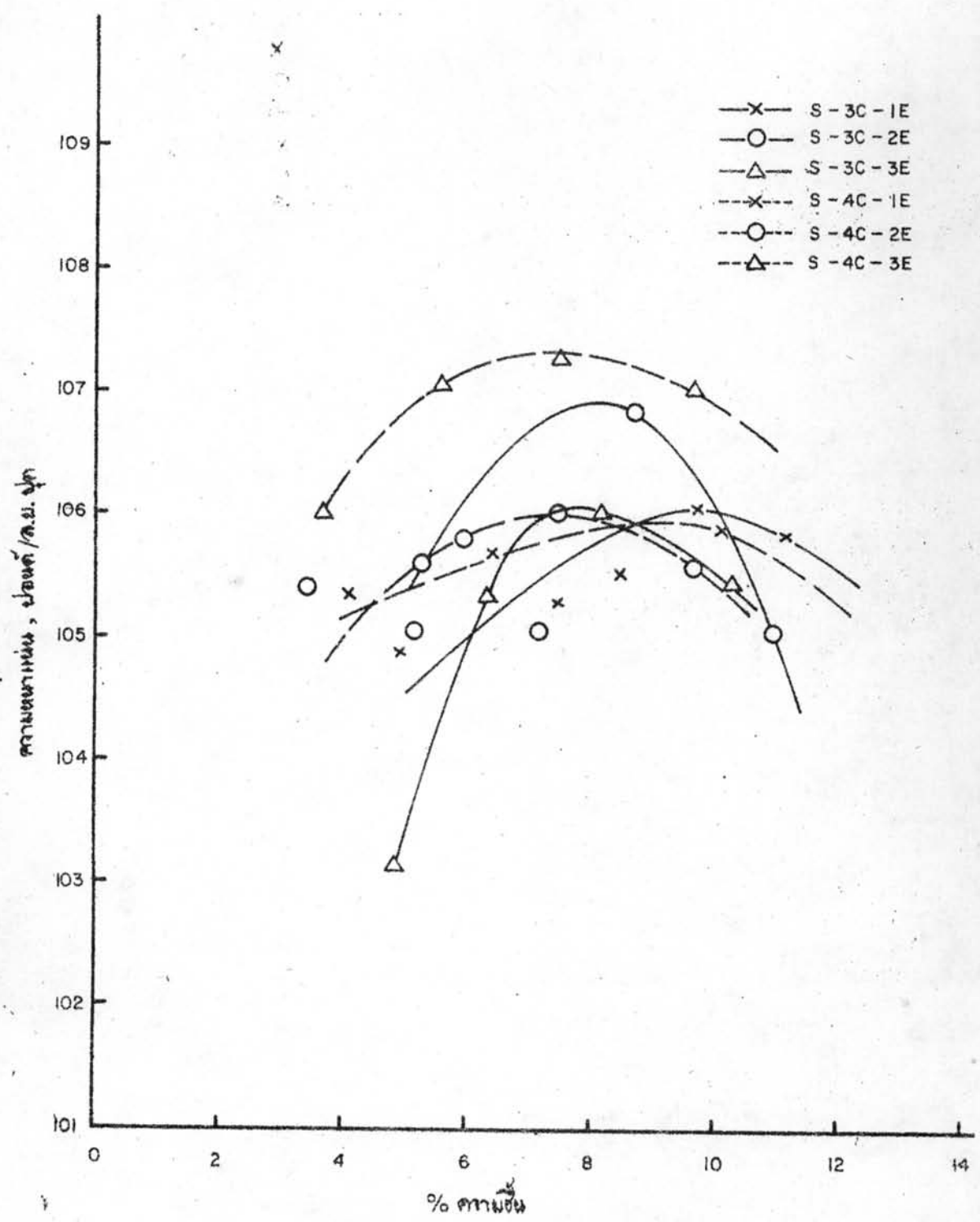


รูปที่ 6. ผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อความหนาแน่นของทรายผสมยางมะตอยดำ

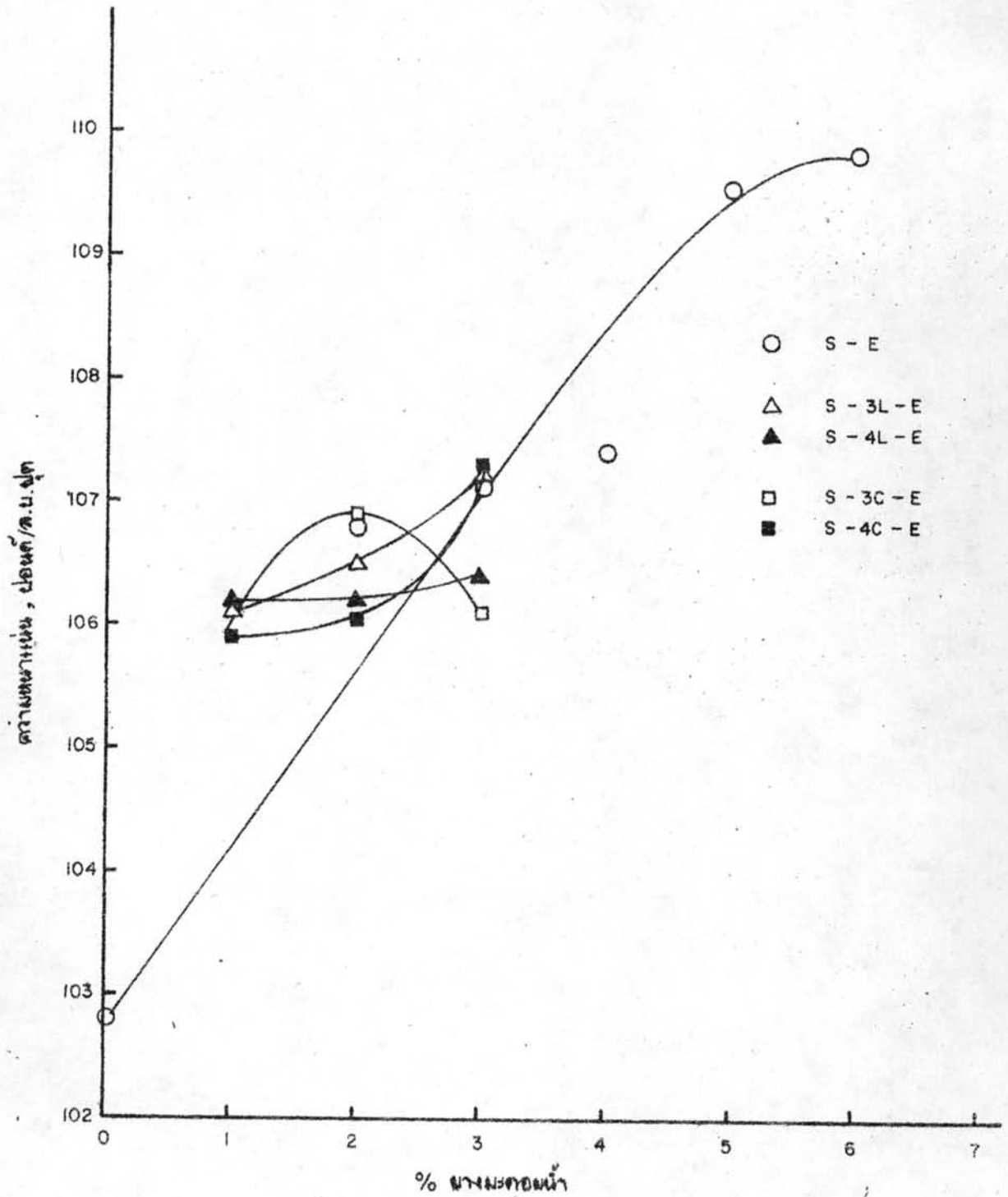




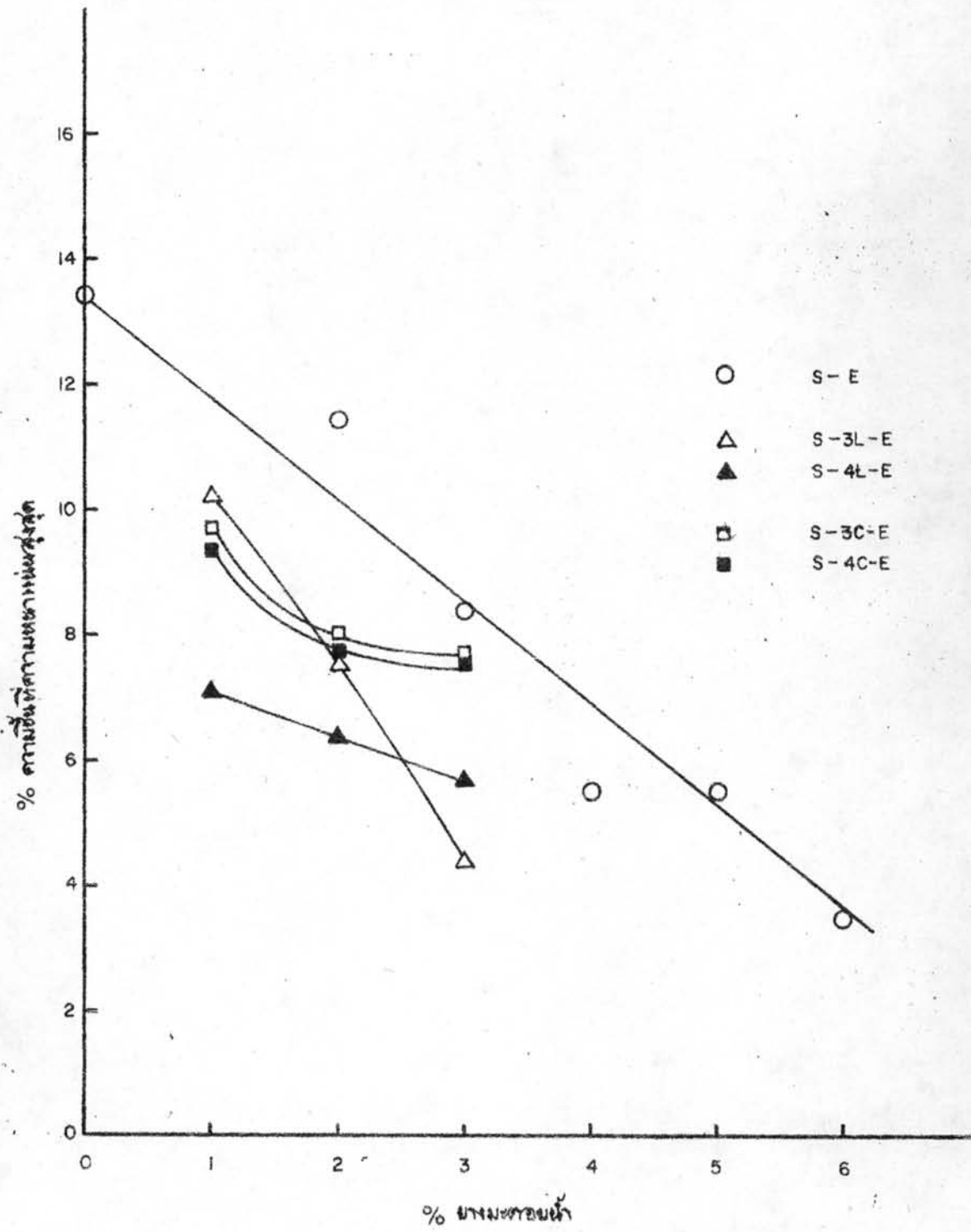
รูปที่ 7 แสดงปริมาณเถ้าที่มีจุดหลอมต่ำสุดของทรายผสมปูนขาวและสารประกอบ



รูปที่ 8. ผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อความหนาแน่นของทามอลผสมปูนซีเมนต์และยางมะตอยน้ำ



รูปที่ 9. ผลของปริมาณน้ำที่มีต่อความหนาแน่น



รูปที่ 10 ผลของฆางมทอนน้ำที่มีต่อปริมาณตามนึ่งสุกตามพื้นที่ตามหนานนึ่งสุก

ปริมาณยางมะตอยจะเคลือบคลุมเม็ดทรายใตุน้ำขึ้นทำให้ระยะห่างระหว่างเม็ดทราย  
 เพิ่มมากขึ้น และมีขนาดเม็ดทรายที่เคลือบคลุมด้วยยางมะตอยน้ำและปูนซีเมนต์มี  
 ขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้หน้าหนักต่อปริมาตรและพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักน้อยลง ดังนั้น  
 S-3C-3E จึงมีค่าความหนาแน่นสูงสุดเมื่อแห้งน้อยกว่าและมีปริมาณความชื้นที่ O.M.C.  
 น้อยกว่าวัสดุผสม S-3E-2E

### ๓.๓ การเปลี่ยนแปลงกำลังรับน้ำหนัก

๓.๓.๑ ผลของยางมะตอย ปูนขาว และปูนซีเมนต์ที่มีต่อกำลังรับน้ำหนัก  
 การทดลองทำการเปลี่ยนแปลงกำลังรับน้ำหนักของวัสดุผสมของทรายทำ  
 การทดลอง ๓ ขั้นตอนด้วยกันคือ

ก. Hveem Stabilometer และ Cohesimeter ตามวิธี  
 Standard Method ของ Chevron Asphalt Company (๘) โดยทำการ  
 ทดลองภายหลังจากบ่มไว้ในอุณหภูมิ ๑ วัน เพื่อให้วัสดุต่างๆ ในตัวอย่างทำ  
 ปฏิกิริยากัน และใช้ส่วนผสมในการทดลองดังต่อไปนี้ คือ S, S-2E, S-3E,  
 S-4E, S-5E, S-6E, S-3L-1E, S-3L-2E, S-3L-3E, S-4L-1E, S-4L-2E,  
 S-4L-3E, S-3C-1E, S-3C-2E, S-3C-3E, S-4C-1E, S-4C-2E, และ  
 S-4C-4E ผลการทดลองสรุปที่ ๑๑ ถึงรูปที่ ๒๕

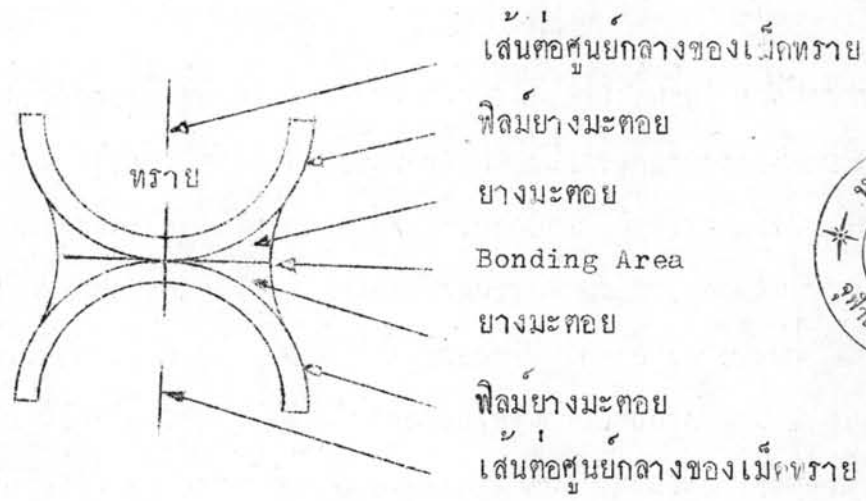
ข. จากผลการทดลอง Hveem Stabilometer และ Cohesimeter  
 ในหัวข้อ ก. เลือกส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อนำไปหาคุณสมบัติอื่น ๆ ของวัสดุผสม  
 ส่วนผสมที่ได้เลือกมาแล้วได้แก่ S-2E, S-4E, S-3L-2E, S-3L-4E, S-4C-2E  
 และ S-4C-4E (เหตุที่เลือกส่วนผสมเหล่านี้จะได้อธิบายต่อไป) นำส่วนผสมที่คัดเลือก  
 แล้วอบไอน้ำ (After M.V.S.) ที่อุณหภูมิ ๑๘๐°F เป็นเวลา ๗๒ ชั่วโมง มา  
 ทำการทดลอง Hveem Stabilometer และ Cohesimeter ตามวิธีการของ  
 Chevron Asphalt Company (๘) ผลการทดลองสรุปที่ ๒๖, ๒๗ และ ๒๘

ก. ใช้ส่วนผสมเช่นเดียวกันกับในหัวข้อที่ ข. ทำการทดลอง Direct Shear Test ภายหลังจากบ่มไว้ในห้องพลาสติกเป็นเวลา ๑ วัน ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ ๒๙ ถึงรูปที่ ๓๘

เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ของ C-Value, R-Value และ Rt-Value กับปริมาณความชื้นของวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ ในรูปที่ ๑๑ ถึง ๑๙ มีลักษณะที่ได้ค่า Maximum C-Value, Maximum R-Value และ Maximum Rt-Value ที่ปริมาณความชื้นอันหนึ่งซึ่งคล้ายเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นและปริมาณความชื้น เหตุที่เส้นโค้งของวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ มี Maximum C-Value อาจอธิบายได้ว่า ทางด้าน Dry Side เมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เม็ดวัสดุจะมี Particle Orientation ค่อนข้างน้อย ระยะห่างระหว่างเม็ดวัสดุชิดกันมากขึ้นและค่า Apparent Cohesion เพิ่มขึ้นทำให้ C-Value มีค่าเพิ่มขึ้น จนถึงปริมาณความชื้นที่ O.M.C. C-Value จะมีค่าสูงสุด ทางด้าน Wet Side เมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นมากกว่า O.M.C. ระยะห่างระหว่างเม็ดวัสดุจะเพิ่มมากขึ้นและปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุทำให้ค่า C-Value ลดลง เมื่อพิจารณาว่า R-Value และ ค่า Rt-Value ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ปริมาณความชื้นอันหนึ่งอาจอธิบายได้ว่า ทางด้าน Dry Side การเพิ่มปริมาณความชื้นจะช่วยเพิ่ม Cohesion หรือการยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุซึ่งกลาวแล้วในข้างต้น และเมื่อวัสดุมีการจัดเรียงเม็ดวัสดุดีขึ้น ค่าความหนาแน่นเมื่อแห้งเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความมของความสัมพันธ์ภายในเพิ่มขึ้น ค่า R-Value และ Rt-Value จะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ปริมาณความชื้นที่ O.M.C. ทางด้าน Wet Side เมื่อปริมาณความชื้นมากกว่า O.M.C. ค่า Cohesion จะลดลงและปริมาณความชื้นจะเป็นส่วนเพิ่มการลดอันการเคลื่อนตัวของเม็ดวัสดุ ทำให้ค่าความมของความสัมพันธ์ภายในลดลง ค่า R-Value และ Rt-Value จึงลดลง

รูปที่ ๒๑ แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า C-Value เมื่อพิจารณาส่วนผสมที่มี แทรทรายและยางมะตอยน้ำ ที่ปริมาณยางมะตอยน้ำ < ๒.๑๗ % เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำ

ในวัสดุตัวอย่างเพิ่มขึ้น ในช่วงนี้ ค่า C-Value จะเพิ่มขึ้น แต่อัตราการเพิ่มค่า C-Value หรือความชันของเส้นโค้งมีค่าน้อย เนื่องจากปริมาณยางมะตอยน้ำจะยังคงเคลือบคลุมเม็ดทรายได้ไม่ทั่วถึง พิล์มยางมะตอยน้ำที่ผิวหน้าของทรายยังมีขนาดบางมาก เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำใกล้เคียงหรือมากกว่า ๒.๑๗ % เล็กน้อย ยางมะตอยน้ำที่ผิวหน้าสัมผัสระหว่างเม็ดทรายจะมีปริมาณมากขึ้น การบีบเกาะระหว่างเม็ดทรายจะมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราสูงมาก สังเกตได้จากเส้นโค้งมีความชันมาก เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้นใกล้เคียง ๔% การเพิ่มค่า Cohesion ต้องใช้ปริมาณยางมะตอยน้ำมาก เนื่องจาก Bonding Area หรือพื้นที่ที่มีการยึดตัวระหว่างเม็ดวัสดุที่อยู่ห่างจากเส้นตอศูนย์กลางของเม็ดทรายจะมีระยะห่างระหว่างผิวทรายมากกว่า Bonding Area ในส่วนที่อยู่ใกล้กับเส้นตอศูนย์กลางของเม็ดวัสดุอาจดูได้จาก รูปที่ ก.



รูปที่ ก. การยึดตัวกันของเม็ดทราย

ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณยางมะตอยน้ำที่จะเข้าไปเชื่อมก่อนผิวทรายทอดหนึ่งหน่วย Bonding Area ของส่วนที่อยู่ห่างจากเส้นตอศูนย์กลางของเม็ดทรายมีปริมาณยางมะตอยมากกว่าส่วนที่อยู่ใกล้เส้นตอศูนย์กลางของเม็ดทราย ดังนั้นปริมาณยางมะตอยน้ำใกล้กับ ๔ % ความชันของเส้นโค้งจะลดลง อัตราการเพิ่มค่า C-Value จะค่อย ๆ ลดลงไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งวัสดุตัวอย่างที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำ ๔ % C-Value จะมีค่าสูงสุด และเมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำ > ๔ % C-Value จะมีค่าลดลงซึ่งอาจอธิบายได้ว่า Bonding Area จะสูงสุดที่ปริมาณยางมะตอยน้ำ ๔% และปริมาณยางมะตอยที่ผิวหน้าของเม็ดทรายมีความหนาพอดี ที่ทำให้การยึดเกาะระหว่างเม็ดทรายดีที่สุด

เมื่อพิจารณาค่า C-Value ของ S-L-E จากรูปที่ ๒๒ จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่า C-Value เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้นซึ่งอาจอธิบายได้คล้ายกับวัสดุผสม S-E เนื่องจากปริมาณยางมะตอยน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ Bonding Area เพิ่มขึ้น แต่ค่า C-Value ของ S-L-E มีค่าสูงกว่า S-E เนื่องจาก S-L-E มีปริมาณปูนขาวที่จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับยางมะตอยน้ำ ทำให้การยึดเกาะระหว่างผิวหน้าของเม็ดวัสดุที่ขึ้นและมันคงกว่าการยึดเกาะระหว่างผิวหน้าของเม็ดวัสดุในวัสดุผสมของ S-E เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวัสดุผสมของ S-L-E ที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำเท่ากันแต่มีปริมาณปูนขาว ๓% และ ๔% วัสดุผสมที่มีปริมาณปูนขาว ๔% จะมีขนาดเม็ดวัสดุผสมของทรายและปูนขาวใหญ่กว่าขนาดเม็ดวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนขาว ๓% เมื่อมีปริมาณยางมะตอยน้ำเท่ากัน ยางมะตอยน้ำส่วนที่จะเข้าไปอยู่ใน Bonding Area ของวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนขาว ๓% จึงมีปริมาณมากกว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนขาว ๔% ซึ่งจะทำการยึดตัวระหว่างเม็ดวัสดุของวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนขาว ๓% มากกว่า ดังนั้น ค่า C-Value ของวัสดุผสมที่มีปูนขาว ๓% จึงมีค่าสูงกว่า ค่า C-Value ของวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนขาว ๔%



เมื่อพิจารณา ค่า C-Value ของ S-C-E จากรูปที่ ๒๑ จะเห็นได้ว่าเมื่อ ปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้น ค่า C-Value จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอาจอธิบายได้เช่นเดียวกับ กัมกับวัสดุผสม S-L-E ในวรรคก่อน แต่เมื่อเปรียบเทียบค่า C-Value ของวัสดุผสม S-E และ S-C-E ค่า C-Value ของวัสดุผสม S-C-E จะมีค่า C-Value สูงกว่า วัสดุผสม S-E เนื่องจาก S-C-E มีปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะทำปฏิกิริยา Hydration กับทราย ซึ่งจะเพิ่มการยึดตัวระหว่างเม็ดของวัสดุผสมมากขึ้นมาก และมียางมะตอยที่ ช่วยเพิ่มการยึดตัวระหว่างเม็ดวัสดุผสมเพิ่มขึ้นอีก เมื่อพิจารณาวัสดุผสมของ S-C-E ที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ ๓% และ ๔% วัสดุผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ ๔% จะมีปริมาณ ปูนซีเมนต์มากกว่า ซึ่งปูนซีเมนต์นี้จะทำปฏิกิริยา Hydration กับทราย ซึ่งจะทำให้ การยึดตัวระหว่างเม็ดทรายดีขึ้นมากกว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ ๓% ดังนั้นวัสดุ ผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ ๔% จึงมีค่า C-Value สูงกว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ ๓%

เมื่อพิจารณาดังผลของปริมาณยางมะตอยน้ำที่มีต่อ R-Value และ Rt-Value ในรูปที่ ๒๐ และ ๒๑ จะเห็นว่า R-Value และ Rt-Value ของวัสดุ ผสม S-E จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำในวัสดุผสมเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ยางมะตอยที่เคลือบคลุมผิวหน้าเม็ดทรายจะลดการเคลื่อนตัวของเม็ดวัสดุผสม ทำให้ ความมของความเสี่ยงทานภายในลดลง เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มมากขึ้นการลดลง จะยิ่งมากขึ้น ทำให้ความมของความเสี่ยงทานภายในลดลงมาก แต่เมื่อพิจารณาวัสดุผสม ของ S-C-E ผลการทดลองจะแตกต่างกัน ค่า R-Value และ Rt-Value ของวัสดุ ผสม S-C-E จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้น แม้ว่าการเพิ่มปริมาณ ยางมะตอยน้ำจะทำให้ความมของความเสี่ยงทานการเคลื่อนตัวของเม็ดวัสดุลดลงก็ตาม แต่ปฏิกิริยา Hydration ของทรายและปูนซีเมนต์จะทำให้ผิวหน้าของทรายมีลักษณะขรุขระ ทำให้การลดลงการเคลื่อนตัวของเม็ดวัสดุมีผลน้อย และปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทาง เคมีกับยางมะตอยน้ำทำให้ยางมะตอยน้ำมีการยึดเกาะกับเม็ดวัสดุได้มากขึ้น การเพิ่มปริมาณ

ยางมะตอยน้ำจึงมีผลในการ เพิ่มการยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุได้มากกว่าการลดค่าม  
 ของความเสียดทานภายใน ซึ่งอาจสรุปที่ ๓๘ ประกอบการอธิบาย จากเหตุผลต่าง ๆ  
 ในข้างต้นเส้นโค้งของ S-C-E ในรูปที่ ๒๐ และ ๒๒ จึงมี ค่า R-Value และ  
 Rt-Value สูงขึ้นเมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณยางมะตอยน้ำ ๑% ถึง  
 ๓% เมื่อเปรียบเทียบวัสดุผสม S-C-E ที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ ๓% และ ๔% ค่า  
 R-Value และ Rt-Value ของวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ ๔% จะมีค่าสูงกว่าวัสดุผสม  
 ที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ ๓% เนื่องจากวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์มากกว่า จะเกิดผล  
 เนื่องจากปฏิกิริยา Hydration ของทรายและปูนซีเมนต์มากกว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณ  
 ปูนซีเมนต์ ๓% เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลง R-Value และ Rt-Value ของ  
 วัสดุผสม S-L-E ในรูปที่ ๒๐ จะเห็นว่าเส้นโค้งของวัสดุผสม S-L-E มีลักษณะผิด  
 ไปจากเส้นโค้งของวัสดุผสม S-E และ S-C-E เส้นโค้งของวัสดุผสม S-L-E มี  
 ค่า R-Value และ Rt-Value สูงสุดที่ปริมาณยางมะตอยน้ำ ๒% ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุ  
 ผสม S-L-E จะมีปูนขาวบางส่วนเกาะอยู่ที่ผิวทราย ทำให้ผิวหน้าของวัสดุผสมมี  
 ลักษณะขรุขระขึ้น เมื่อผสมยางมะตอยน้ำน้อยกว่า ๒% เข้าไปในวัสดุผสม S-L-E พิล์ม  
 ยางมะตอยที่ผิวหน้าของวัสดุผสมจะยังมีขนาดบาง และอาจจะเคลือบคลุมผิวทรายได้ยัง  
 ไม่ทั่วหมด ทำให้การหล่อลื่นการเคลื่อนตัวของเม็ดวัสดุผสมมีผลน้อย แต่ผลของการเพิ่ม  
 แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุโดยยางมะตอยที่ผิวสัมผัสมีมากกว่า ทำให้ ค่า R-Value  
 และ Rt-Value ที่ปริมาณยางมะตอยน้ำ ๒% มากกว่าที่ปริมาณยางมะตอยน้ำ ๑% และ  
 เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำ > ๒% ยางมะตอยจะเคลือบคลุมเม็ดวัสดุได้ดีขึ้นและมีฟิล์ม  
 ยางมะตอยที่ผิวหน้าสัมผัสหนาขึ้น การหล่อลื่นการเคลื่อนตัวของเม็ดวัสดุผสมจะมีผลมาก  
 ขึ้น ทำให้ค่ามของความเสียดทานภายในลดลงมาก และปริมาณยางมะตอยน้ำส่วนที่  
 มากกว่า ๒% ไม่ทำให้ ค่า C-Value เพิ่มขึ้นมากนัก ดังนั้น ค่า R-Value และ  
 Rt-Value ที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำมากกว่า ๒% จึงมี ค่าน้อยกว่าที่ปริมาณยางมะตอย  
 น้อย ๒% เมื่อเปรียบเทียบค่า R-Value และ Rt-Value ของวัสดุผสม S-L-E  
 กับ S-E ที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำเท่ากัน จากรูปที่ ๒๐ และ ๒๒ จะเห็นว่า R-Value

และ Rt-Value ของวัสดุผสม S-L-E มีค่าสูงกว่าวัสดุผสม S-E เนื่องจากวัสดุผสม S-L-E มีขนาดเม็ดวัสดุใหญ่กว่า S-E ปริมาณพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของเม็ดวัสดุ S-L-E จึงมีค่าน้อยกว่าทำให้ปริมาณยางมะตอยที่ผิวสัมผัสระหว่างเม็ดวัสดุผสมทราย และปูนขาวมีปริมาณมากกว่าวัสดุผสม S-E และปูนขาวทำปฏิกิริยาทางเคมีกับทราย และยางมะตอยน้ำทำให้มีการยึดเกาะกันโคเหนียวแน่นขึ้น แรงยึดเกาะระหว่างเม็ด วัสดุผสมของ S-L-E จึงมีค่ามากกว่า และเป็นผลให้ ค่า R-Value และ Rt-Value ของวัสดุผสม S-L-E มีค่าสูงกว่า S-E แต่เมื่อเปรียบเทียบวัสดุผสม S-L-E กับ วัสดุผสม S-C-E จะเห็นว่าวัสดุผสม S-C-E มีค่า R-Value และ Rt-Value สูงกว่า วัสดุผสม S-L-E เนื่องจากวัสดุผสม S-C-E มีพื้นที่ผิวสัมผัสที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydration กับทราย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ความนุ่มของความเสียดทานภายใน มีค่าสูง กว่าวัสดุผสม S-L-E มาก เส้นโค้งในรูปที่ ๒๐ และ ๒๒ จึงมีลักษณะสูงกว่าดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบวัสดุผสม S-L-E ที่มีปริมาณปูนขาว ๓ % และ ๔ % วัสดุผสมที่มีปริมาณ ปูนขาว ๔% จะมีขนาดเม็ดใหญ่กว่า และมีปริมาณพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักน้อยกว่า ทำให้ยางมะตอยน้ำที่ผิวสัมผัสมีไหลอด้นไ้มากกว่า เป็นผลให้ค่า R-Value และ Rt-Value ของวัสดุผสมที่มีปูนขาว ๔% มีค่าน้อยกว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนขาว ๓%

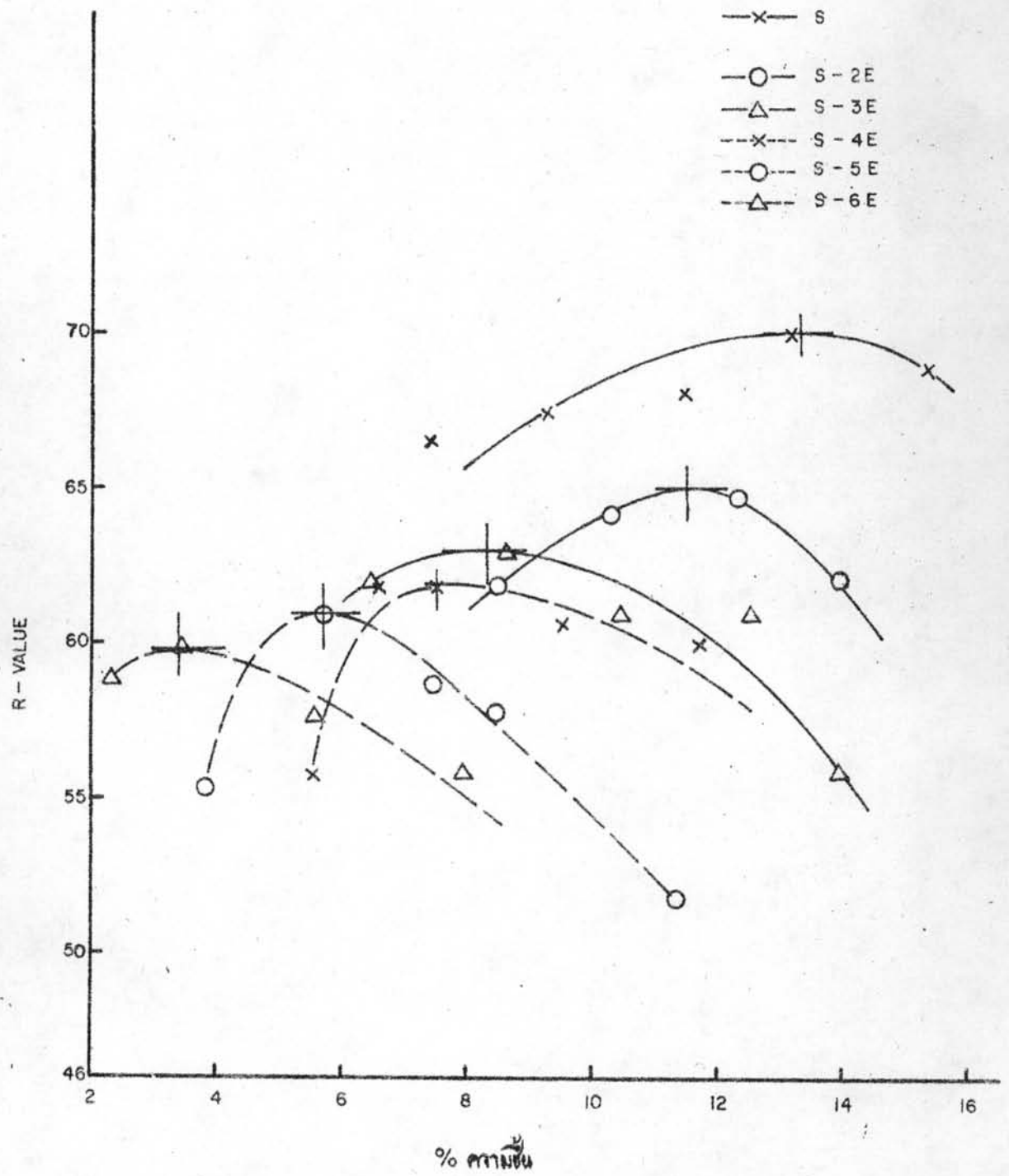
เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นที่มี C-Value, R-Value, Rt-Value มีค่า สูงสุดดังในรูปที่ ๒๓, ๒๔ และ ๒๕ จะเห็นว่าเส้นโค้งของวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ มี ลักษณะที่คล้ายกัน คือมีปริมาณความชื้นที่ O.M.C ลดน้อยลงเมื่อยางมะตอยน้ำในวัสดุผสม มีปริมาณมากขึ้น เนื่องจากวัสดุผสมที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้นจะมีพื้นที่ผิวหน้าของ เม็ดวัสดุที่จะให้ปริมาณน้ำเข้าไปเคลือบคลุมน้อยลง ดังนั้นปริมาณน้ำที่จะเข้าเคลือบคลุม ีผิวหน้าของเม็ดวัสดุจึงมีปริมาณลดลง เส้นโค้งจึงมีลักษณะดังในรูปที่ ๒๓, ๒๔ และ ๒๕

จากผลการทดลอง Hveem Stabilometer และ Cohosimeter ตามวิธี Standard Method ของ Chevron Asphalt Company (๘) ดังได้อธิบาย ไว้ข้างต้น อาจพิจารณาเลือกส่วนผสมชนิดต่าง ๆ เพื่อนำไปศึกษาและวิจัยในขั้นต่อไป

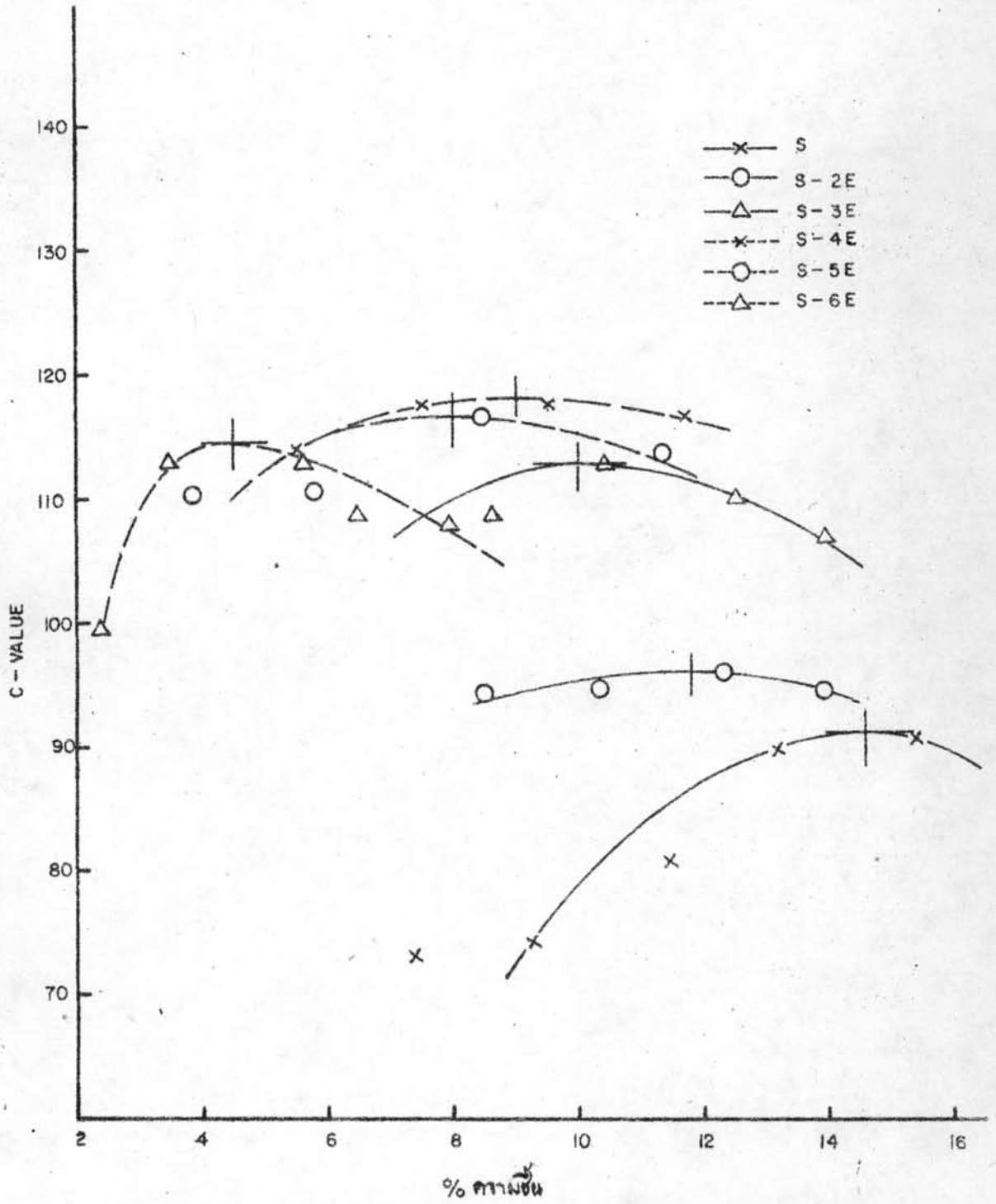
ตามเหตุผลดังต่อไปนี้

ก. เมื่อพิจารณาเลือกส่วนผสมของวัสดุผสมที่มีทรายและยางมะตอยน้ำ จะเห็นว่าส่วนผสม S-2E มีค่า Rt-Value ประมาณ ๗๐ ซึ่งใกล้เคียงกับความต้องการของ Chevron Asphalt Company (๘) ในตารางที่ ๔ ซึ่งจะเห็นวัสดุที่ใช้เป็นชั้นพื้นทางของถนนที่มีปริมาณการจราจรแบบ Light และ Medium Traffic และมี DTN น้อยกว่า ๑๐๐ (การจราจรขนาดน้อยและปานกลางที่มีปริมาณรถ ๑๐๐ คันต่อวัน) ต้องมีค่า Rt-Value อย่างน้อย ๗๐ ดังนั้น S-2E จึงเป็นส่วนผสมที่อยู่ในข่ายของการพิจารณา แต่ S-2E มีข้อเสียในเรื่อง Cohesion ที่ยังมีค่าน้อย เมื่อพิจารณาส่วนผสม S-4E จะเห็นว่าเป็นส่วนผสมที่มีค่า C-Value สูงกว่าส่วนผสม S-2E และสูงที่สุดในวัสดุผสมของทรายและยางมะตอยน้ำ และแม้ว่าวัสดุผสม S-4E ในการทดลองชุดนี้มีค่า Rt-Value เพียง ๖๗ ซึ่งน้อยกว่า ๗๐ ก็ตาม แต่ถ้ามองข้อดีวัสดุซึ่งพลังงานมากกว่านี้ วัสดุผสม S-4E ควรจะมีกำลังรับน้ำหนักได้ค่อนกว่านั้นมาก ดังนั้นวัสดุผสมของทรายและยางมะตอยน้ำจึงสมควรเลือกส่วนผสม S-2E และ S-4E เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกันต่อไปอีก

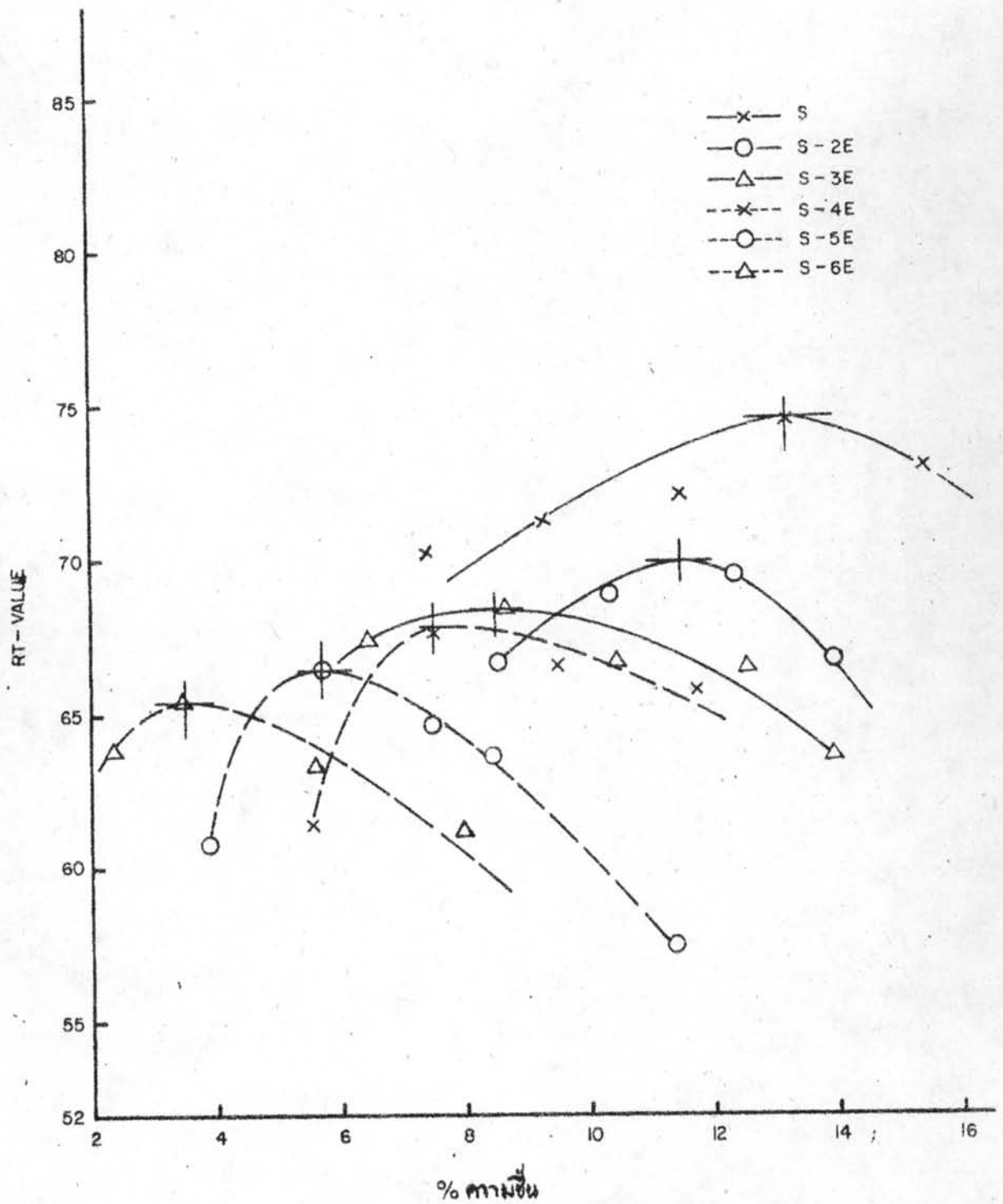
ข. เมื่อพิจารณาเลือกส่วนผสมของวัสดุผสมทรายผสมปูนขาวและยางมะตอยน้ำ จากผลการทดลองการเลือกส่วนผสมที่มีปริมาณปูนขาว ๓ % เพราะว่าเส้นโค้งของส่วนผสมที่มีปูนขาว ๓ % มีค่า Rt-Value สูงกว่าส่วนผสมที่มีปูนขาว ๔ % ดังในรูปที่ ๒๒ และวัสดุผสมที่มีปูนขาว ๓% จะใช้ปริมาณปูนขาวน้อยกว่าจึงเป็นการประหยัดวัสดุได้มากกว่า และวัสดุผสมที่มีปริมาณปูนขาว ๓ % มีค่า Rt-Value มากกว่า ๗๔ ซึ่งมากกว่าความต้องการของ Chevron Asphalt Company การเลือกปริมาณยางมะตอยน้ำในส่วนผสมควรเลือก ๒% และ ๔% เพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบกับวัสดุผสมของทรายและยางมะตอยน้ำ ดังนั้นวัสดุผสมของทราย ปูนขาว และยางมะตอยน้ำควรเลือกส่วนผสม S-3L-2E และ S-3L-4E เพื่อนำไปศึกษาคุณสมบัติต่อไปอีก



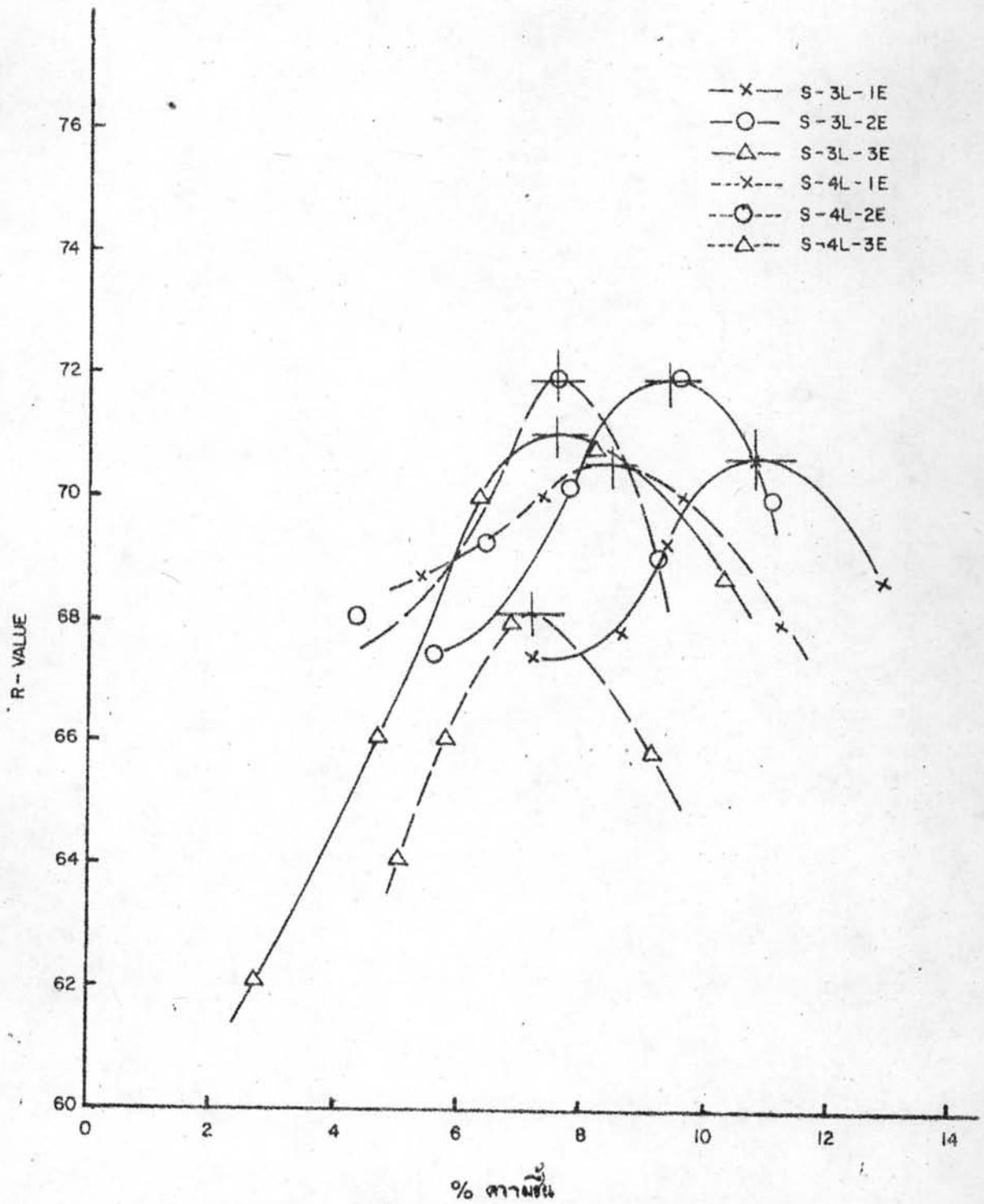
รูปที่ II. ผลของปริมาณคาร์บอนที่มีต่อ R-VALUE ของทรายผสมผงปูนอะลูมินา



รูปที่ 12 แสดงปริมาณความชื้นที่หาค่า C-VALUE ของการผสมสารกันบูดน้ำ

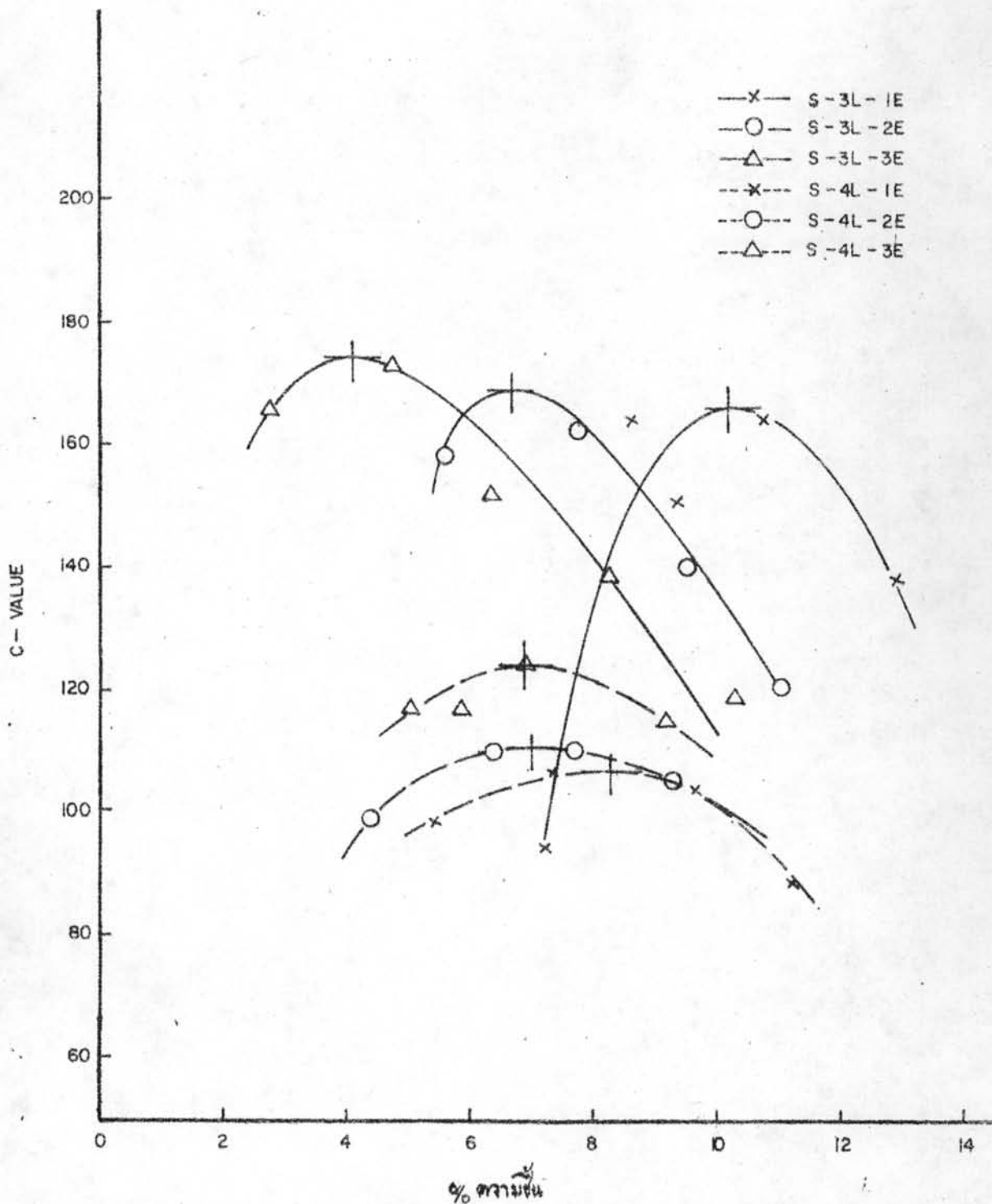


รูปที่ 13. ผลของปริมาณคาร์บอนที่มีต่อ RT-VALUE ของภาพผสมผงคาร์บอนน้ำ

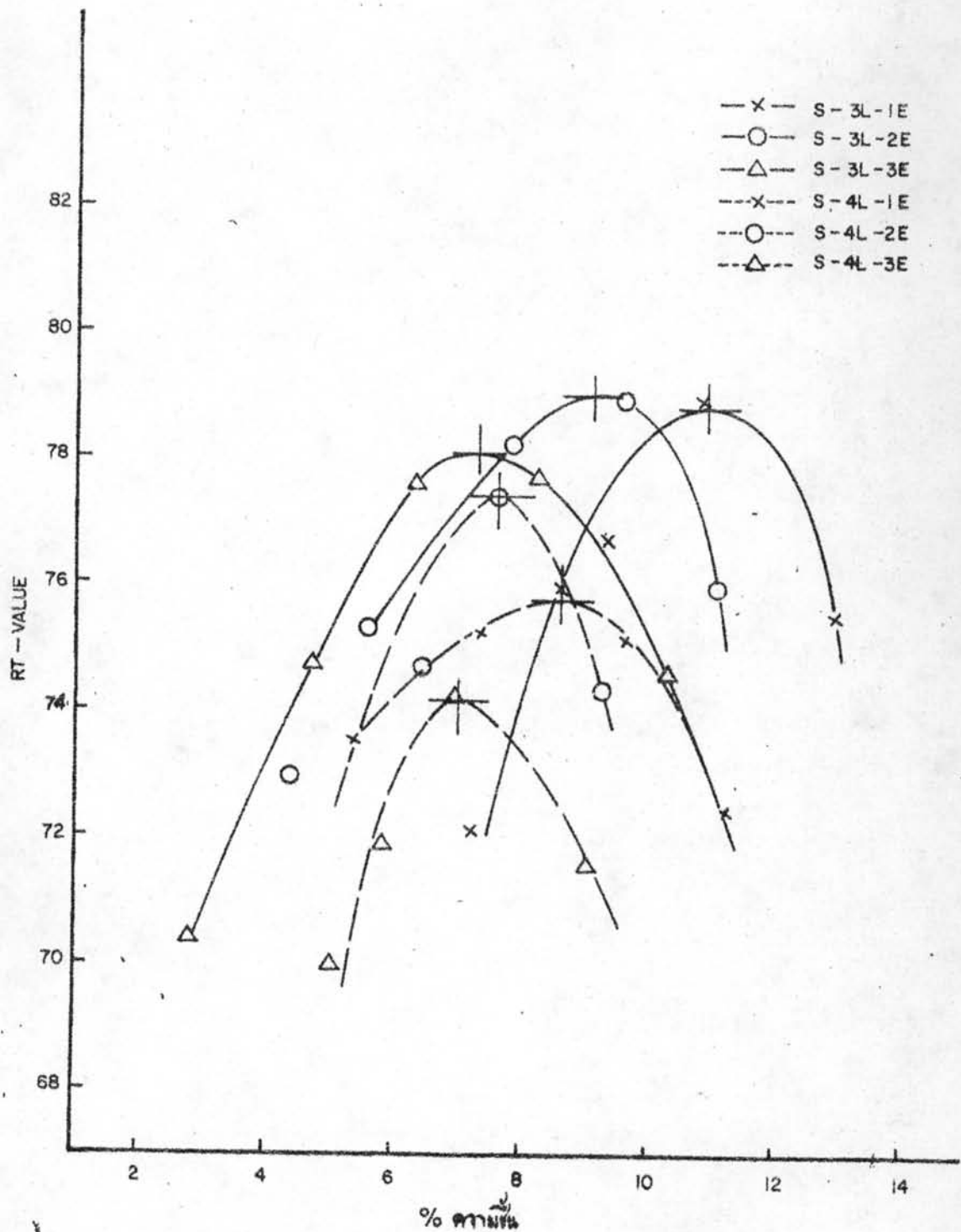


รูปที่ 14. ผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อ R-VALUE ของกระดาษแผ่นบางและกระดาษหนา

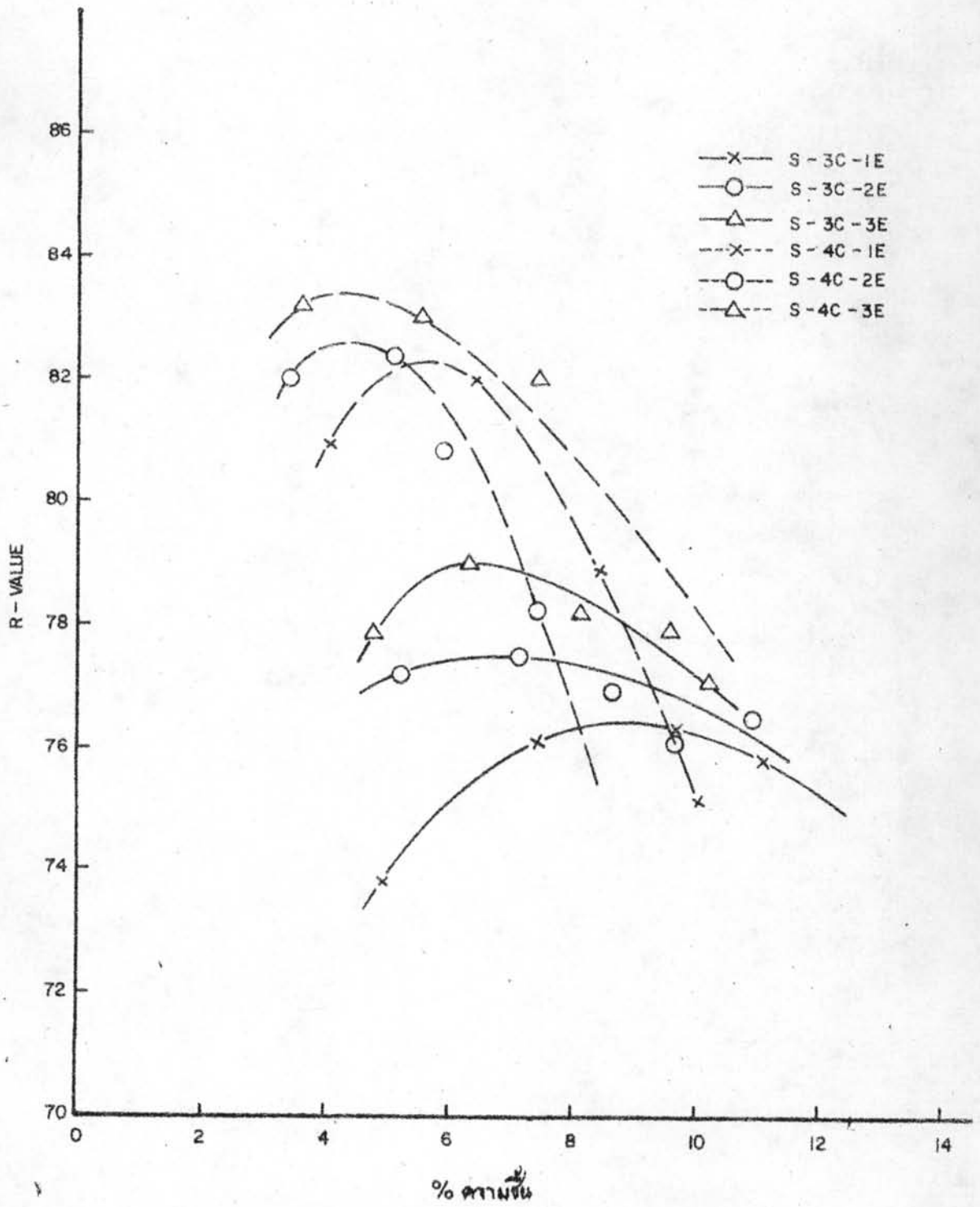




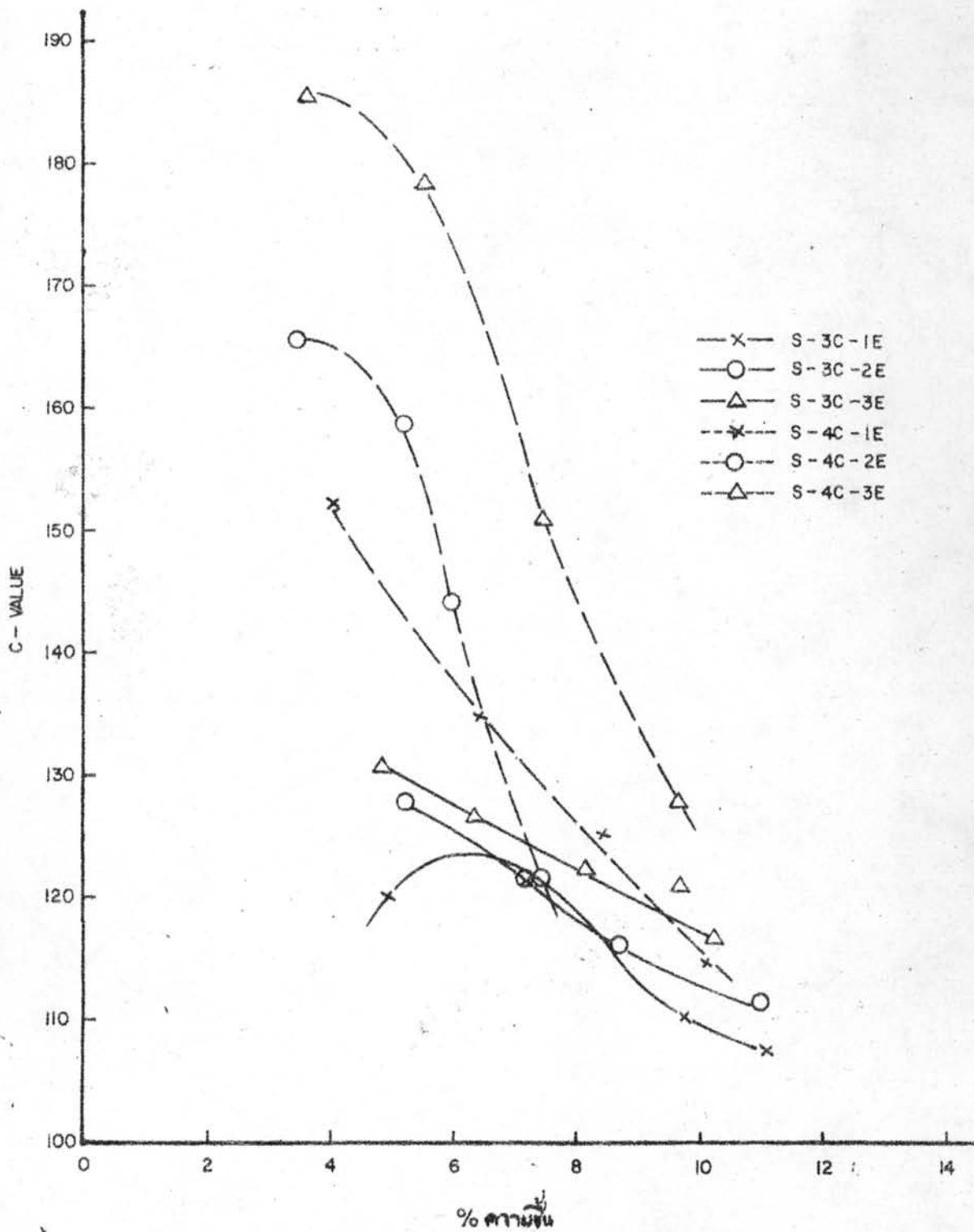
รูปที่ 15. ผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อ C-VALUE ของหอยทากตัวผู้และตัวเมีย



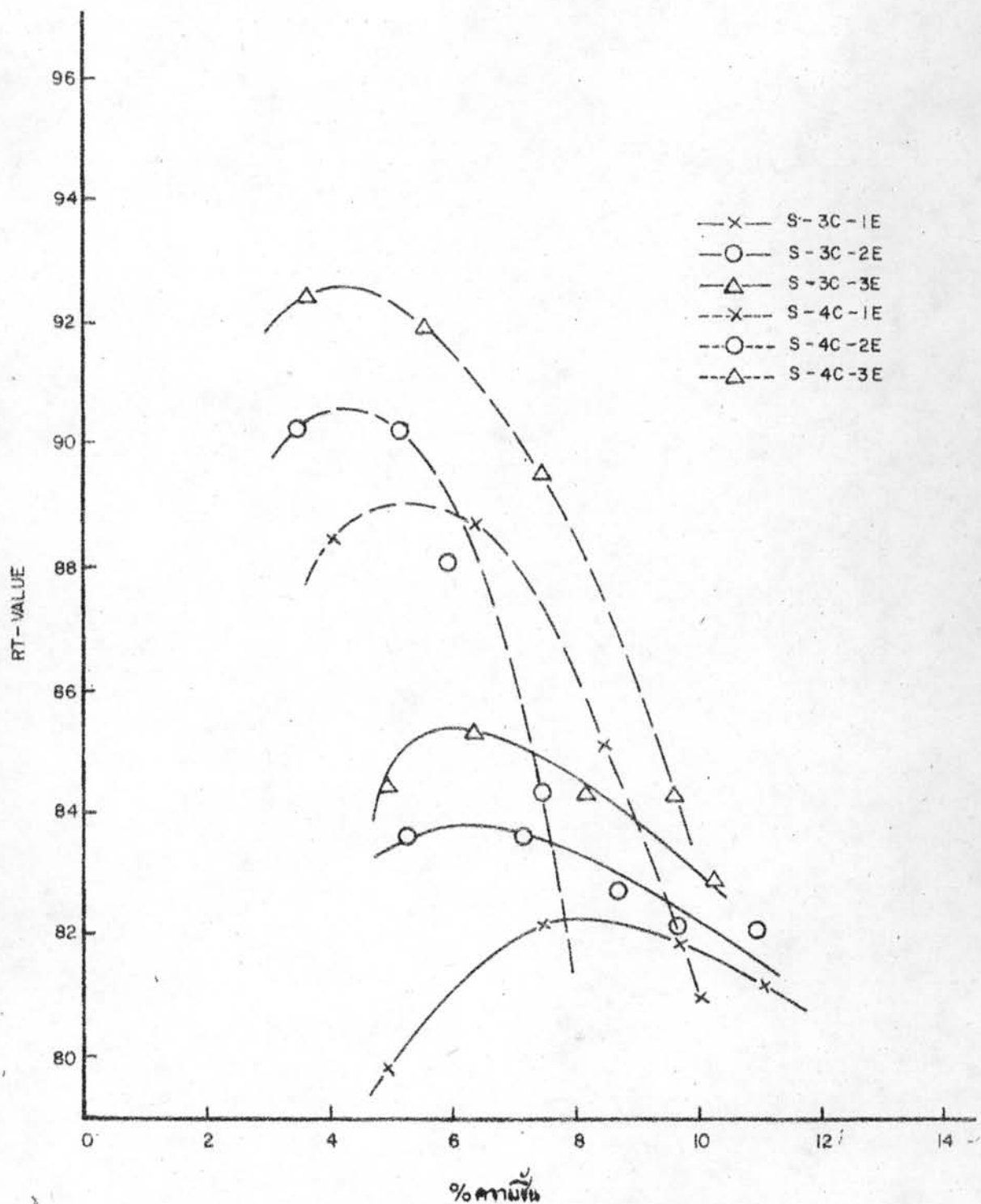
รูปที่ 16. ผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อ RT-VALUE ของพาราเมตริกสเปกตรัมของสารละลาย



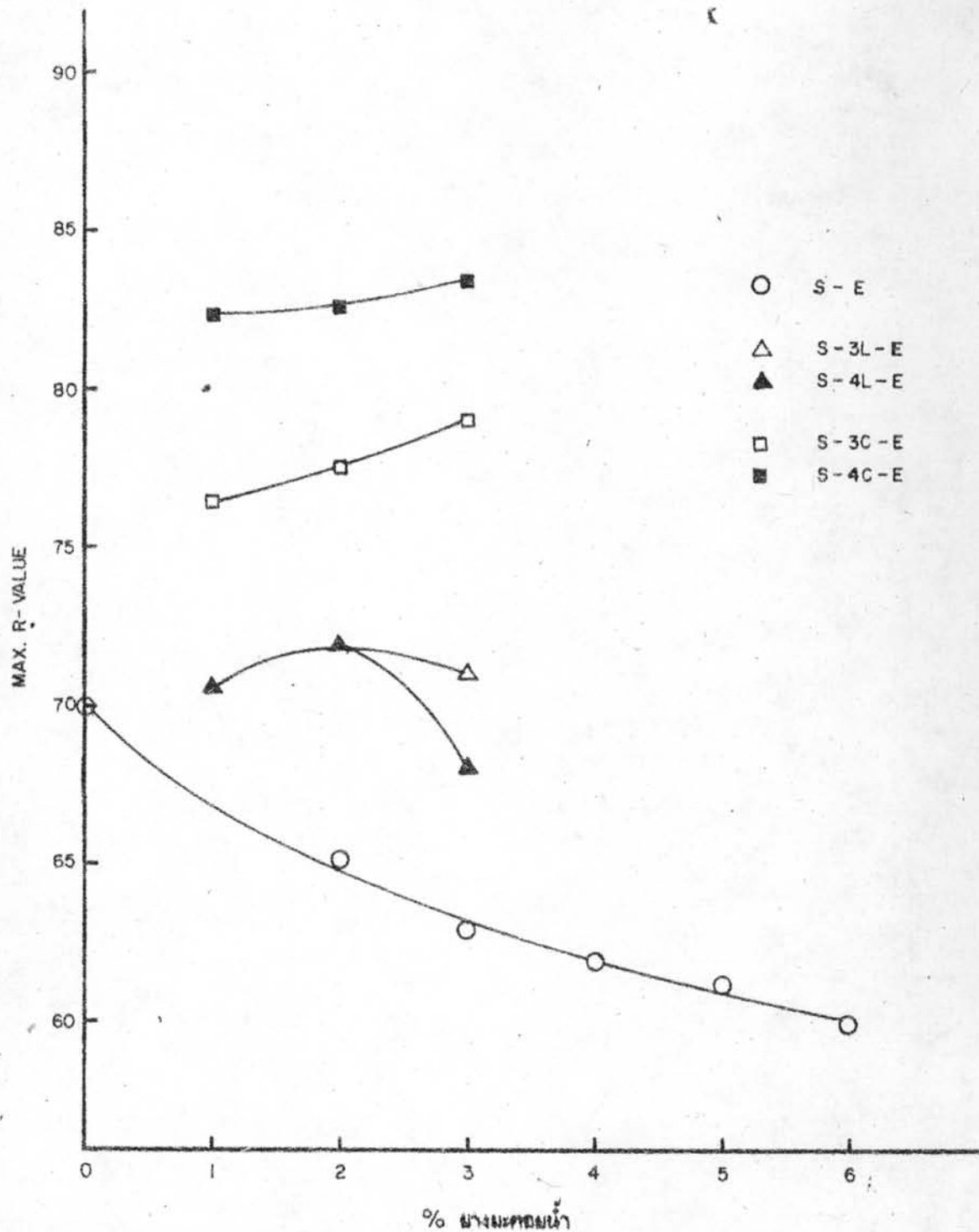
รูปที่ 17. ผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อ R-VALUE ของทรายผสมปูนซีเมนต์และขี้เถ้า



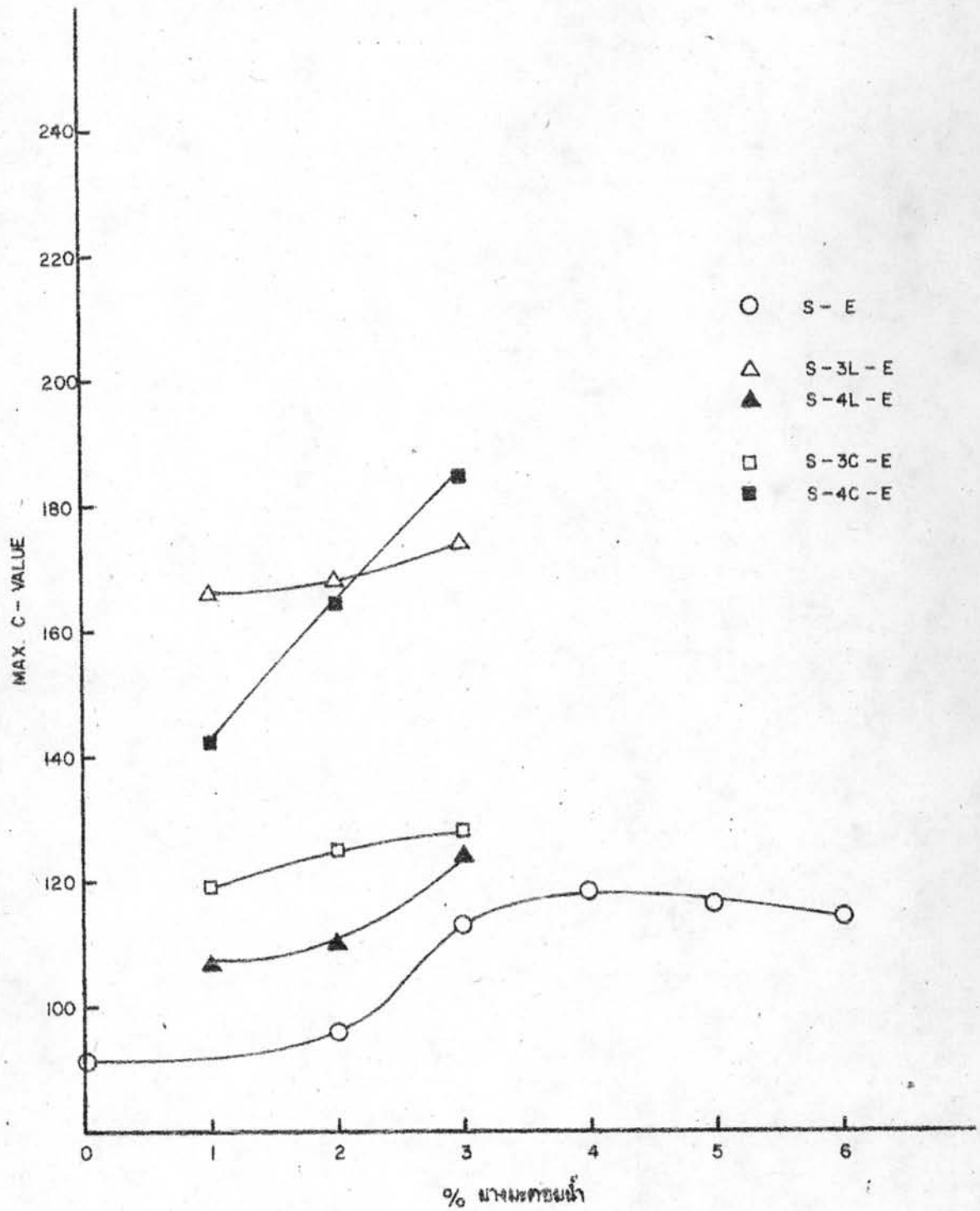
รูปที่ 8. ผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อ C-VALUE ของสารผสมปูนซีเมนต์สำหรับทำคอนกรีต



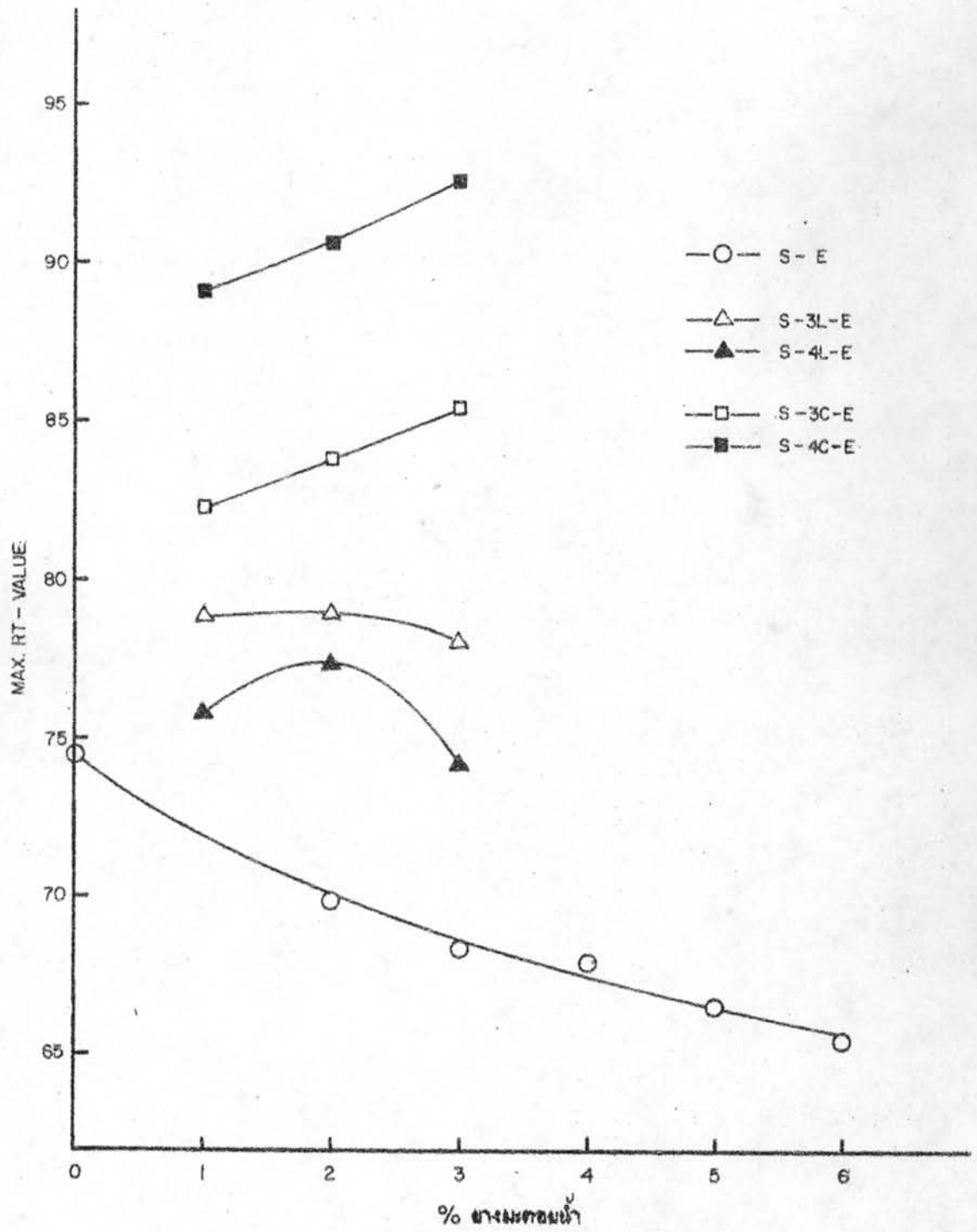
รูปที่ 19. ผลของปริมาณคาร์บอนที่มีต่อ RT-VALUE ของหินทรายผลึกชั้นหินตะกอนน้ำ



รูปที่ 20. ผลของผนังทึบผนังที่มีต่อ R-VALUE

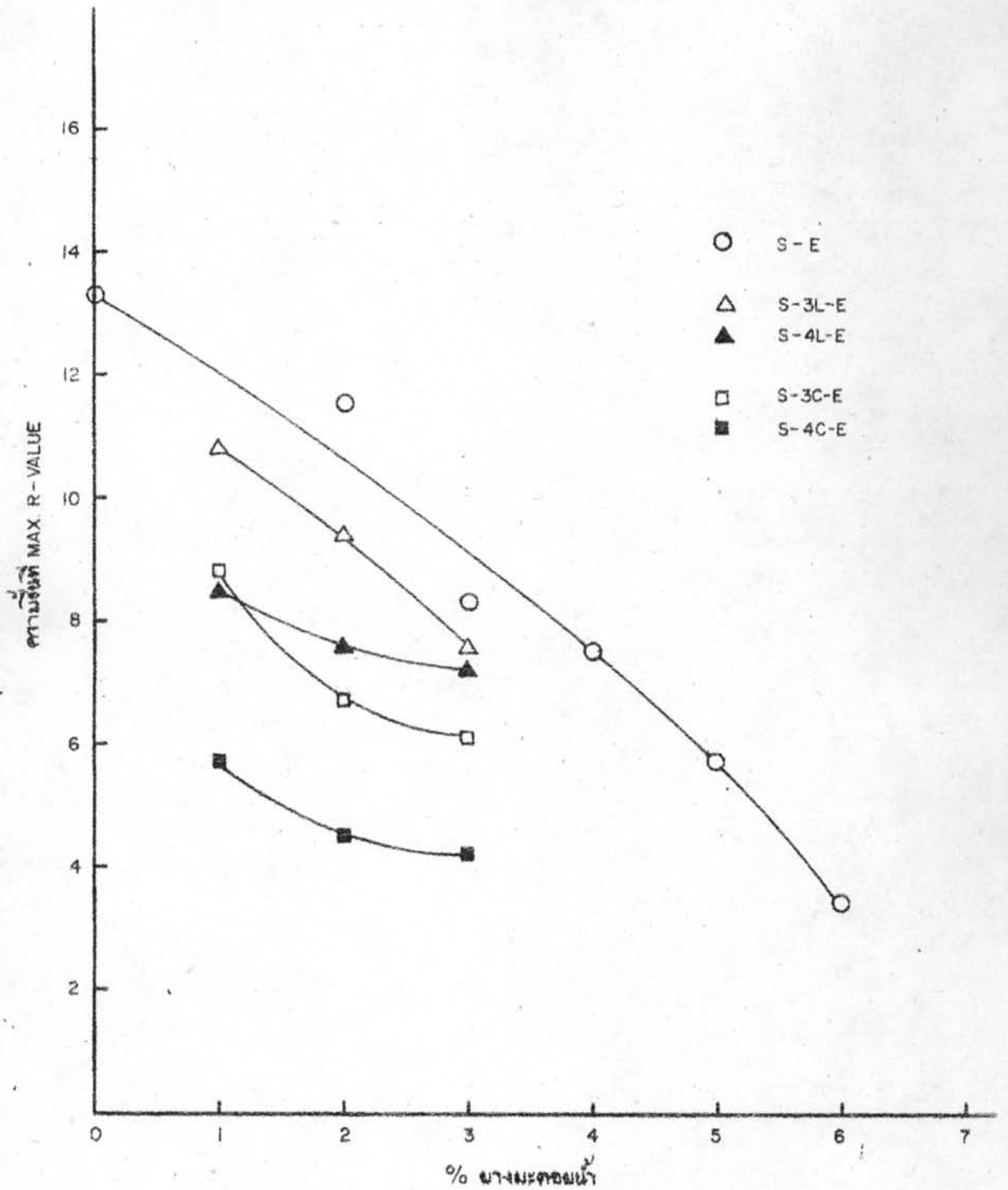


รูปที่ 21. ผลของขนาดหลอดน้ำที่ใส่ต่อ C - VALUE

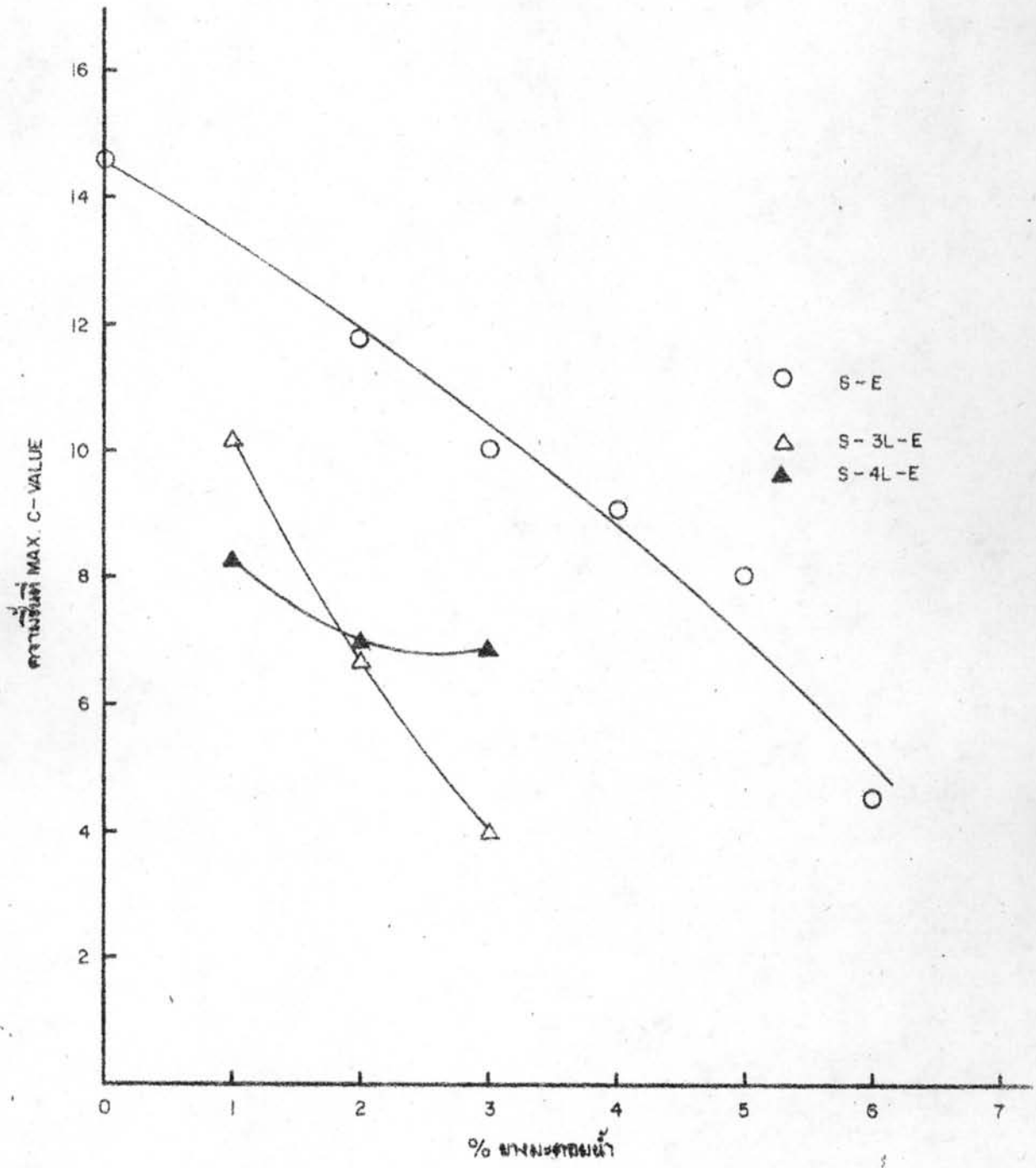


รูปที่ 22. ผลของปริมาณสารละลายน้ำที่มีต่อ RT-VALUE

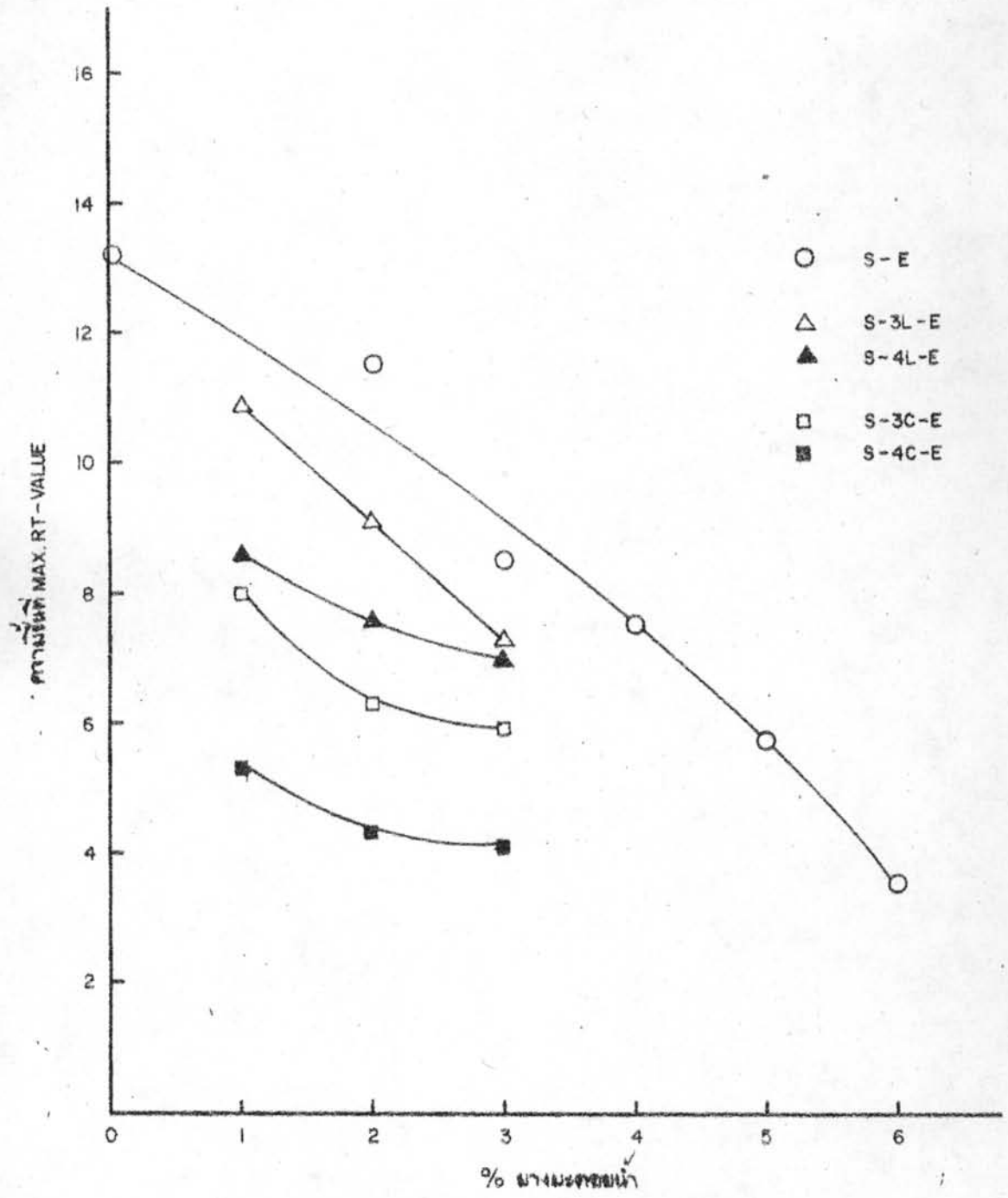




รูปที่ 23. ผลของทรายหยาบที่มีต่อค่าดัชนี MAX R-VALUE



รูปที่ 24. สัมพันธ์ระหว่างความชื้นน้ำที่มีค่าปริมาณน้ำ MAX. C-VALUE



รูปที่ 25. ผลของฆางฆะฆะฆะฆะฆะที่มีต่อฆางฆะฆะฆะฆะฆะฆะ MAX. RT-VALUE

ค. เมื่อพิจารณาเลือกส่วนผสมของวัสดุผสมทรายผสมอย่างละเอียดน้ำและปูนซีเมนต์ควรเลือกส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ ๔% เพราะจะเป็นส่วนผสมที่ให้เส้นโค้งของ Rt-Value สูงกว่าส่วนผสมที่มีปูนซีเมนต์ ๓% และเส้นโค้งของส่วนผสมที่มีปูนซีเมนต์ ๔% มีค่า Rt-Value ตั้งแต่ ๘๘ ถึง ๙๓ ซึ่งเป็นค่าสูงกว่าความต้องการของ Chevron Asphalt Company (๘) มาก และอาจคาดได้ว่า ค่า Rt-Value after M.V.S. จะมีค่าสูงเพิ่มขึ้นมากกว่า Rt-Value แบบ Standard Method เนื่องจากระยะเวลาการของการบ่ม อุณหภูมิ ปริมาณไอน้ำ ทำให้ปฏิกิริยา Hydration ของทรายและปูนซีเมนต์ภายหลังอบไอน้ำมากขึ้นกว่าการทดลองแบบ Standard Method

๓.๓.๒ การเปรียบเทียบผลการทดลองตามวิธี Standard Method กับวิธีทดลอง After M.V.S.

จากผลการทดลอง Hveem Stabilometer และ Cohesimeter After M.V.S. ดังในรูป ๒๖, ๒๗ ก. และ ๒๘ เมื่อเทียบกับผลทดลองแบบ Standard Method จะเห็นว่าเมื่อพิจารณาวัสดุผสม S-2E และ S-4E ค่า C-Value เมื่อทดลอง After M.V.S. จะมีค่าสูงกว่าทดลองแบบ Standard Method เนื่องจากแบบ M.V.S. วัสดุตัวอย่างจะอบไอน้ำที่อุณหภูมิ ๑๕๐° F ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิธรรมดาในห้องทดลอง ซึ่งการอบไอน้ำจะทำให้ Viscosity หรือความหนืดของยางมะตอยลดลง ประกอบกับการที่มีไอน้ำไหลวนเวียนในวัสดุตัวอย่าง จะช่วยให้ยางมะตอย Flow หรือไหลง่ายขึ้น ยางมะตอยจะมีการเปลี่ยนแปลงการจับตัวที่ผิวทรายและมีการจัดเรียงเม็ดใหม่ ซึ่งสังเกตได้จากความสูงของตัวอย่างภายหลังอบไอน้ำ ๓๒ ชั่วโมง จะมีความสูงลดลงและมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ระยะห่างระหว่างเม็ดทรายจะลดลง เมื่อนำวัสดุตัวอย่างมาทดลอง Cohesimeter ที่อุณหภูมิธรรมดา ค่า C-Value ของวัสดุตัวอย่างที่ผ่านการอบไอน้ำที่อุณหภูมิ ๑๕๐° F จะมีค่าสูงกว่า ค่า C-Value ที่ทำการทดลองแบบ Standard Method และจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น

วัสดุตัวอย่างที่ผ่านการอบไอน้ำ (After M.V.S.) มีค่า C-Value ที่เพิ่มและการจุกเรียง  
เม็ดของวัสดุจะทำให้ค่าความเสียดทานภายในเพิ่มขึ้น ซึ่งเหตุผลเหล่านี้ทำให้ค่า  
R-Value และ Rt-Value เมื่อทำการทดลอง After M.V.S. มีค่าสูงกว่าเมื่อทำการ  
ทดลองแบบ Standard Method

เมื่อพิจารณาวัสดุผสม S-4C-2E และ S-4C-4E จะเห็นว่าค่า C-Value,  
R-Value และ Rt-Value เมื่อทำการทดลอง After M.V.S. จะมีค่าสูงกว่าเมื่อทำ  
การทดลองแบบ Standard Method ผลที่เกิดขึ้นเช่นนี้อาจอธิบายได้ ๓ ประการ

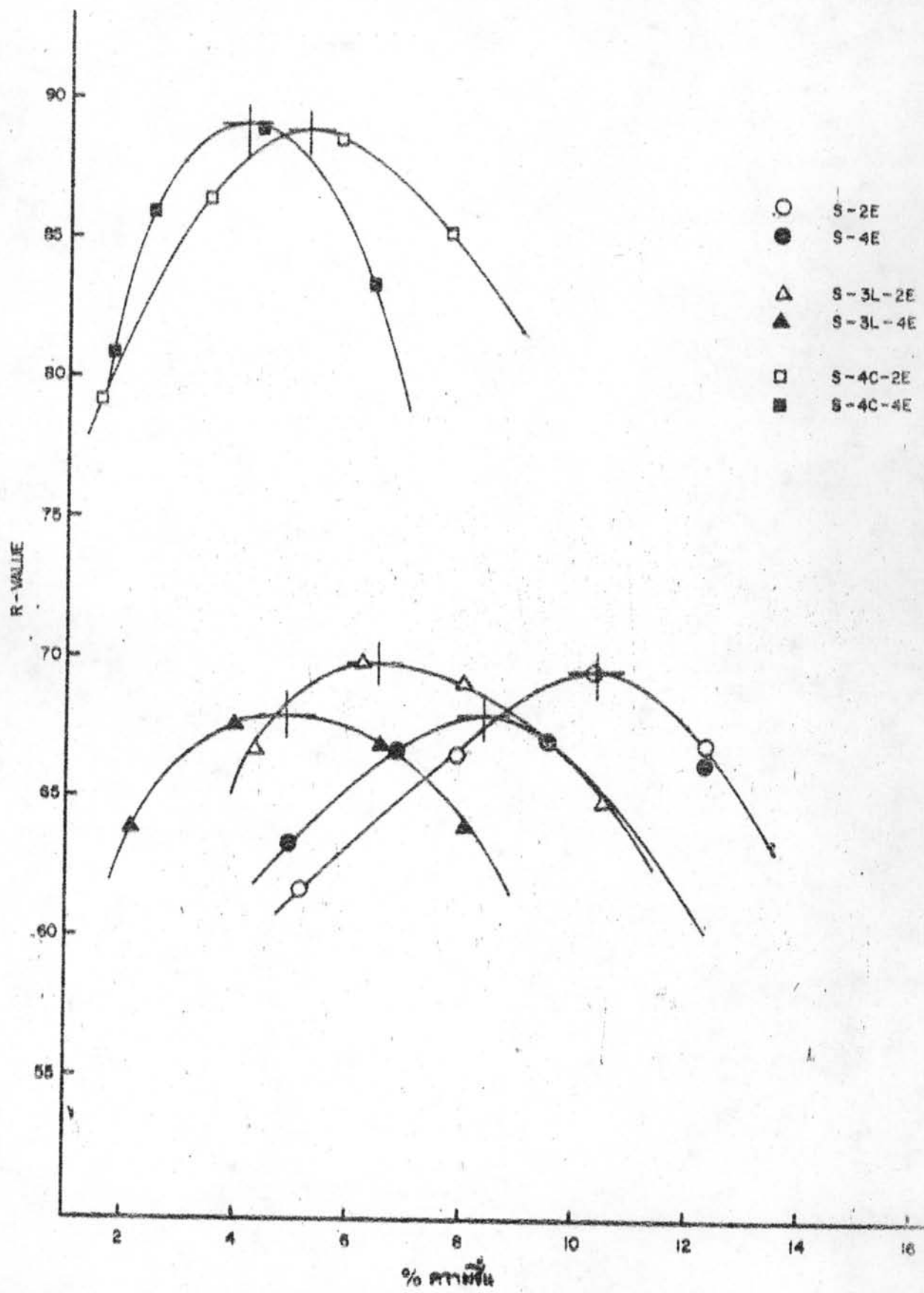
๑. เวลาในการบ่มภายหลังจากอบไอน้ำประมาณ ๗๒ ชั่วโมง ซึ่งเวลาในการ  
บ่มมากกว่าทำการทดลองแบบ Standard Method ทำให้ปฏิกิริยา Hydration ของ  
ทรายและปูนซีเมนต์ดำเนินไปไต่มาากกว่า

๒. การไหลเวียนของไอน้ำในวัสดุตัวอย่างจะเป็นส่วนช่วยให้อปฏิกิริยา  
Hydration ดำเนินไปโดยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

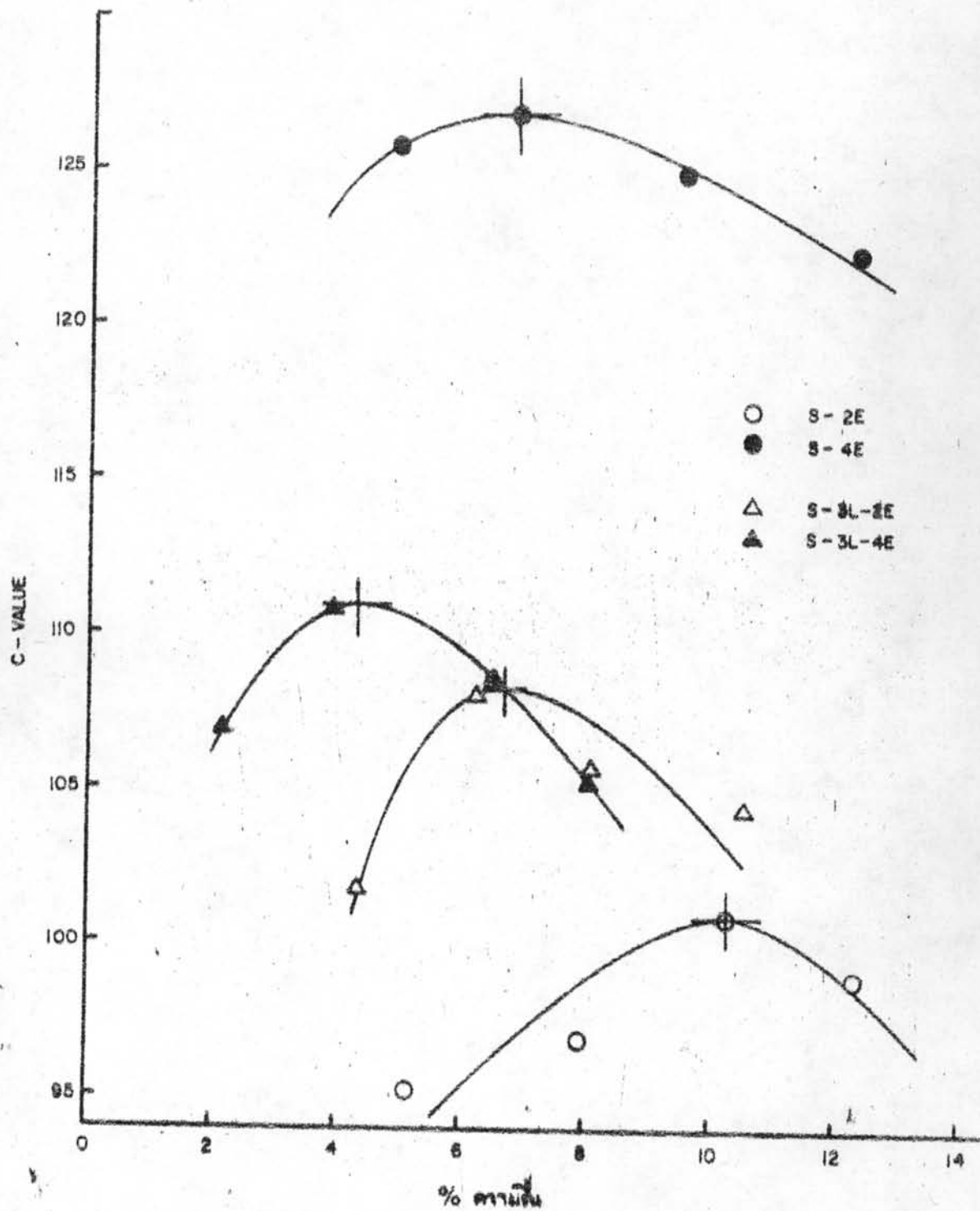
๓. อุณหภูมิในการอบไอน้ำ ๑๔๐° F ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิห้องธรรมดา (Room  
Temperature) ซึ่งจะเป็นส่วนที่ช่วยเร่งให้อปฏิกิริยา Hydration ดำเนินไปเร็วขึ้น  
ซึ่งเหตุผลต่าง ๆ เหล่านี้จะทำให้แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุและมุมของความเสียด  
ทานภายในของวัสดุ ภายหลังจากอบไอน้ำมีค่าสูงกว่าวัสดุที่บ่มในอุณหภูมิห้องเพียง ๑ วัน

เมื่อพิจารณาวัสดุผสม S-3L-2E และ S-3L-4E จะเห็นว่าค่า C-Value,  
R-Value และ Rt-Value เมื่อทำการทดลอง After M.V.S. มีค่าน้อยกว่าเมื่อทำ  
การทดลองแบบ Standard Method เนื่องจากตัวอย่างที่นำเข้าไปอบไอน้ำจะมีการดูด  
ซึมความชื้นเข้าไป ซึ่งปริมาณความชื้นนี้จะเป็นส่วนที่เข้าไปทำลายการยึดเกาะระหว่าง  
เม็ดวัสดุ ทำให้แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุลดลง และยังเป็นส่วนที่ช่วยในการหล่อน  
การเคลื่อนตัวของเม็ดวัสดุทำให้ความเสียดทานภายในของเม็ดวัสดุลดลง

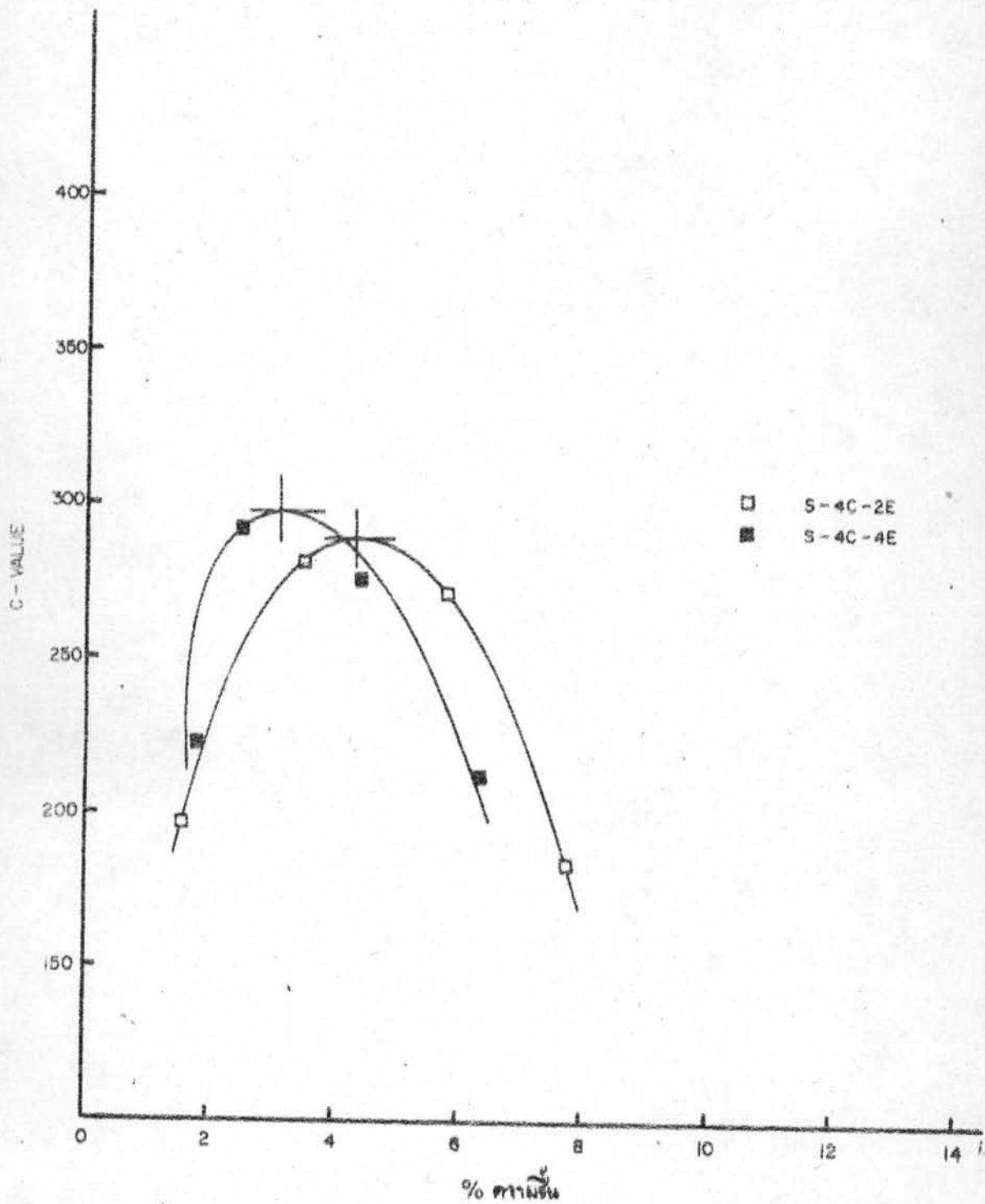
จากผลการทดลอง Direct Shear Test ของวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ จะ  
เห็นว่าเมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้น ค่า Cohesion จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากส่วนผสม



รูปที่ 26 แสดงผลสัมประสิทธิ์การนำความร้อน R-VALUE ตามความชื้น (AFTER M.V.S)

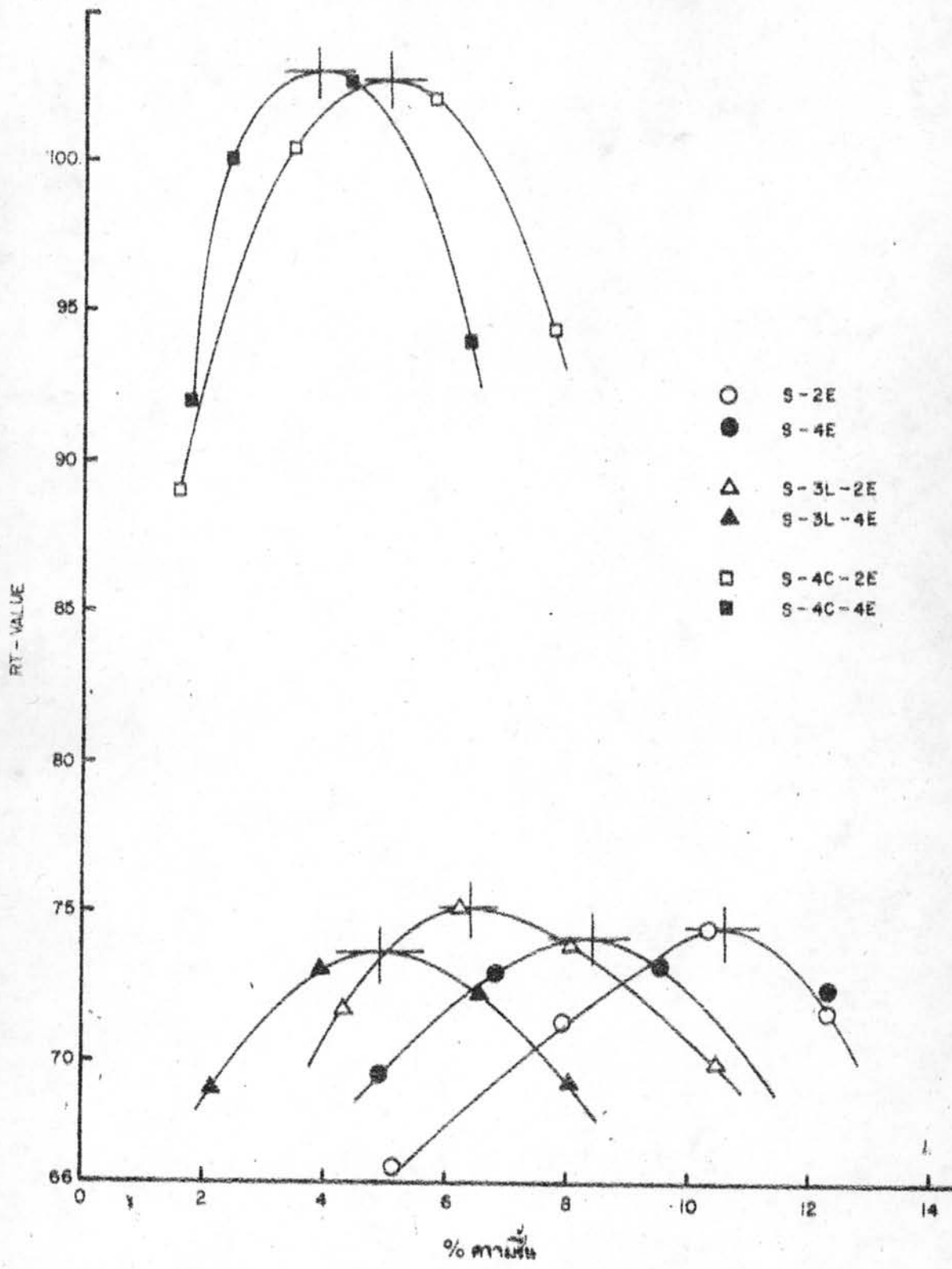


รูปที่ 27ก. ผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อ C-VALUE ของเมล็ดงา (AFTER M.V.S)



รูปที่ 27. ผลการเปลี่ยนแปลงค่า C-VALUE ตามความชื้น (AFTER M.V.S.)

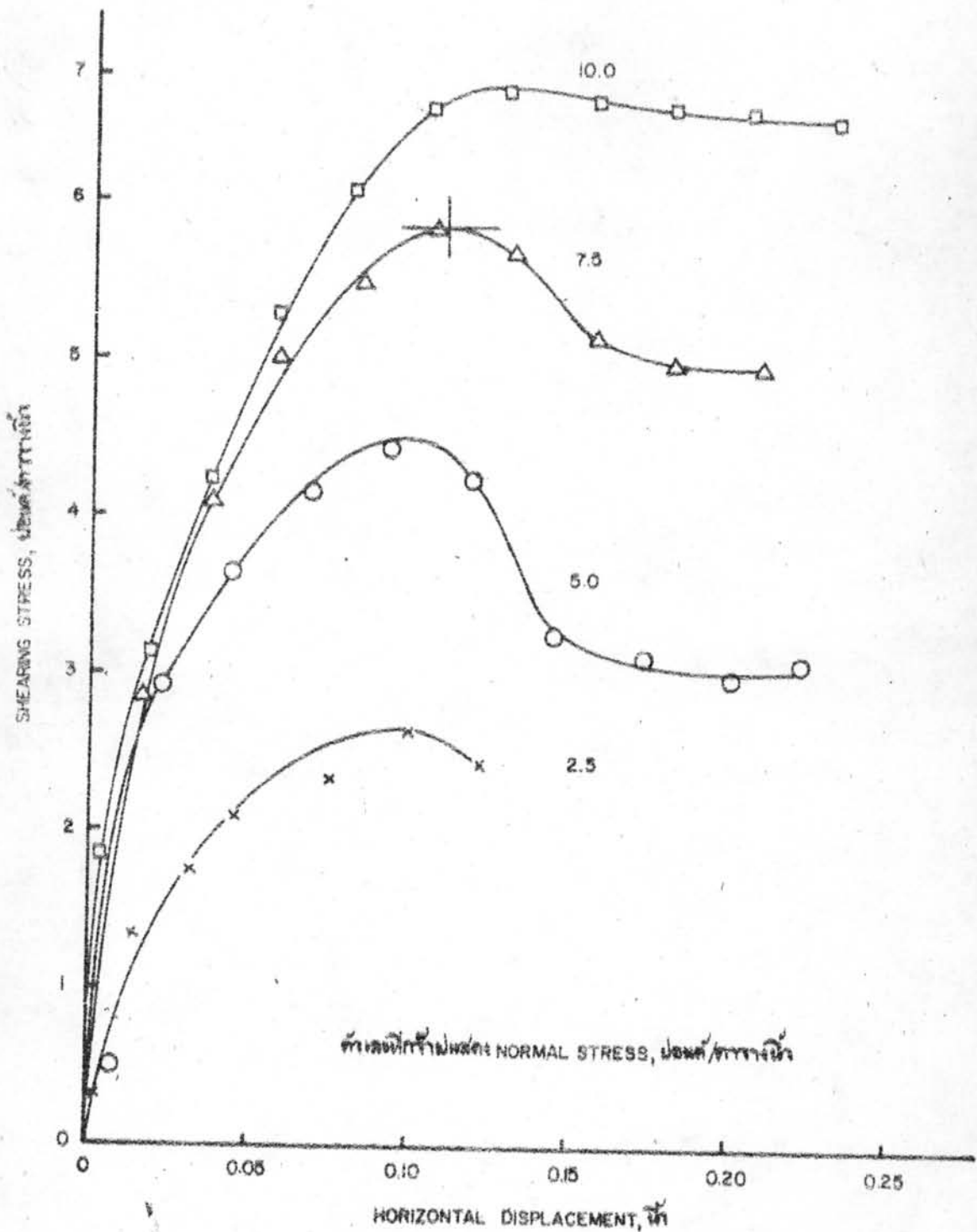




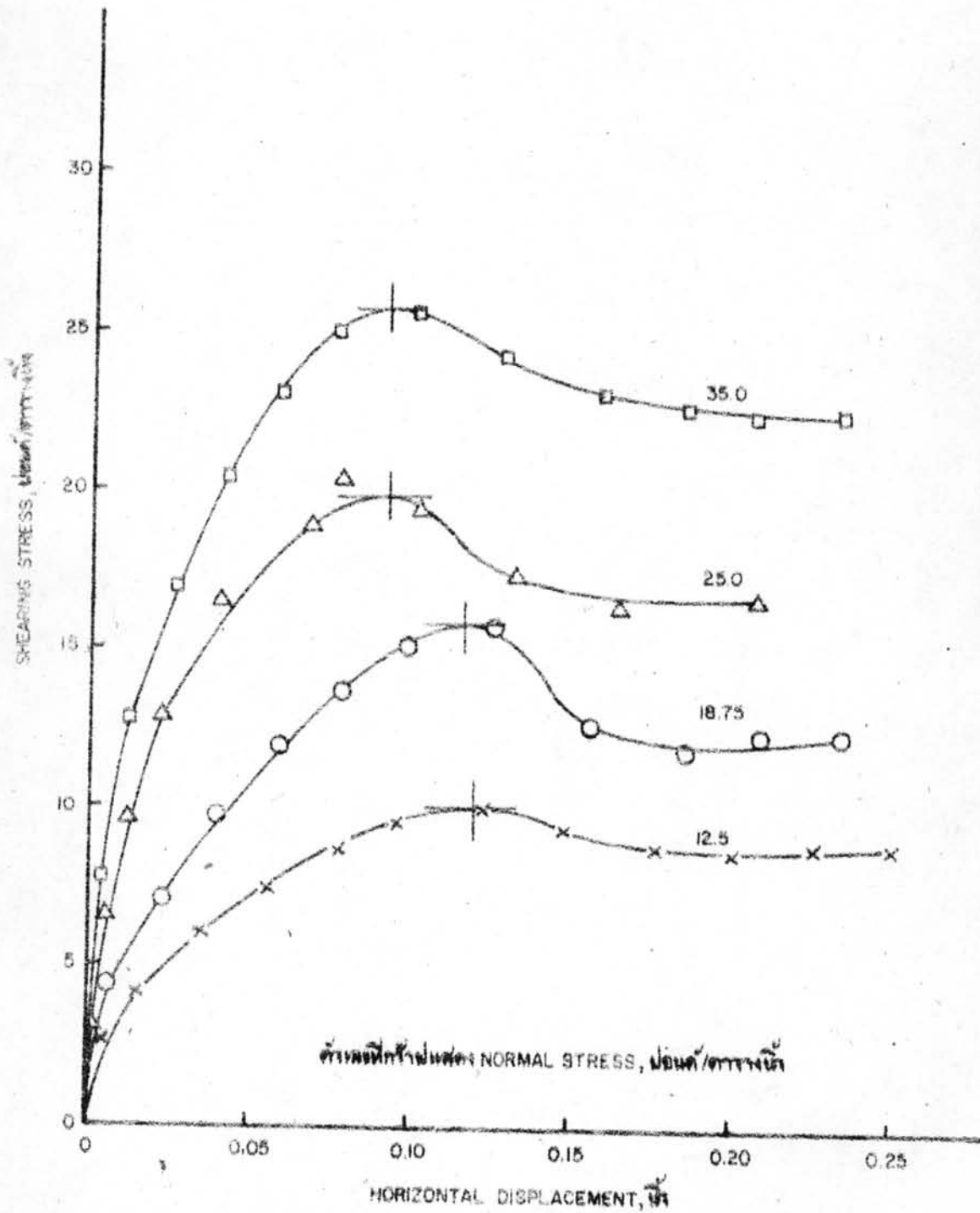
รูปที่ 28. ผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อ RT-VALUE ตามชนิดของปูน (AFTER M.V.S.)

ที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำมากกว่า จะมี Bond Linkage มากกว่ามีการยึดตัวระหว่าง  
 เม็ดค้ำกว่าในวัสดุผสม S, S-2E และ S-4E ค่า Cohesion จะเพิ่มจาก ๐.๗๕  
 ปอนด์/ตารางนิ้ว ไปเป็น ๑.๕๐ ปอนด์/ตารางนิ้ว และ ๑.๓๐ ปอนด์/ตารางนิ้ว  
 ตามลำดับ จาก S ถึง S-2E ปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้น ๒ % ค่า Cohesion  
 เพิ่มขึ้น ๐.๗๕ ปอนด์/ตารางนิ้ว และจาก S-2E ถึง S-4E ปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้น  
 ๒ % เช่นกันแต่ค่า Cohesion เพิ่มขึ้นเพียง ๐.๕ ปอนด์/ตารางนิ้ว เนื่องจากการ  
 เพิ่มค่า Cohesion เป็นสัดส่วนกับการเพิ่ม Bonding Area แต่การเพิ่มปริมาณยาง  
 มะตอยน้ำ ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่ม Bonding Area ดังได้อธิบายไว้ในหัวข้อ  
 ๓.๓.๑ ดังนั้นการเพิ่มค่า Cohesion ของวัสดุผสมจาก S ถึง S-2E จึงสูงกว่าจาก  
 S-2E ถึง S-4E

จากผลการทดลอง รูปที่ ๓๒ , ๓๕ และ ๓๘ ค่าของมุมของความเสียด-  
 ทานภายใน หรือ Angle of Internal Friction ของวัสดุผสมที่มีปริมาณยางมะตอย  
 น้ำ ๒ % มีค่าสูงกว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำ ๔ % เนื่องจากวัสดุผสมที่มีปริมาณยาง  
 มะตอยน้ำ ๔ % มีปริมาณยางมะตอยในตัวอย่างช่วยลดการเคลื่อนตัวของเม็ดวัสดุได้  
 มาก ค่ามุมของความเสียดทานภายในจึงน้อยกว่าส่วนผสมที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำ ๒ %  
 จากรูปที่ ๓๒ เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มจาก S ไปเป็น S-2E ค่ามุมของความ  
 เสียดทานภายในลดลงเพียง ๑° แต่เมื่อปริมาณยางมะตอยน้ำเพิ่มขึ้นจาก S-2E ไปเป็น  
 S-4E ค่ามุมของความเสียดทานภายในจะลดลงถึง ๕° เนื่องจากที่ปริมาณยางมะตอย  
 นำน้อยกว่า ๒.๑๗ % ยางมะตอยน้ำเคลือบคลุมเม็ดทรายยังไม่ทั่ว การลดแรงเมื่อเพิ่ม  
 ปริมาณยางมะตอยน้ำจึงมีค่าลดลงด้วย แต่ที่ปริมาณยางมะตอยน้ำมากกว่า ๒.๑๗ %  
 ยางมะตอยจะเคลือบคลุมเม็ดทรายได้หมด และฟิล์มยางมะตอยน้ำหนาขึ้น ดังนั้นปริมาณ  
 การลดแรงเมื่อเพิ่มยางมะตอยน้ำจึงมีค่าลดลงมากกว่า

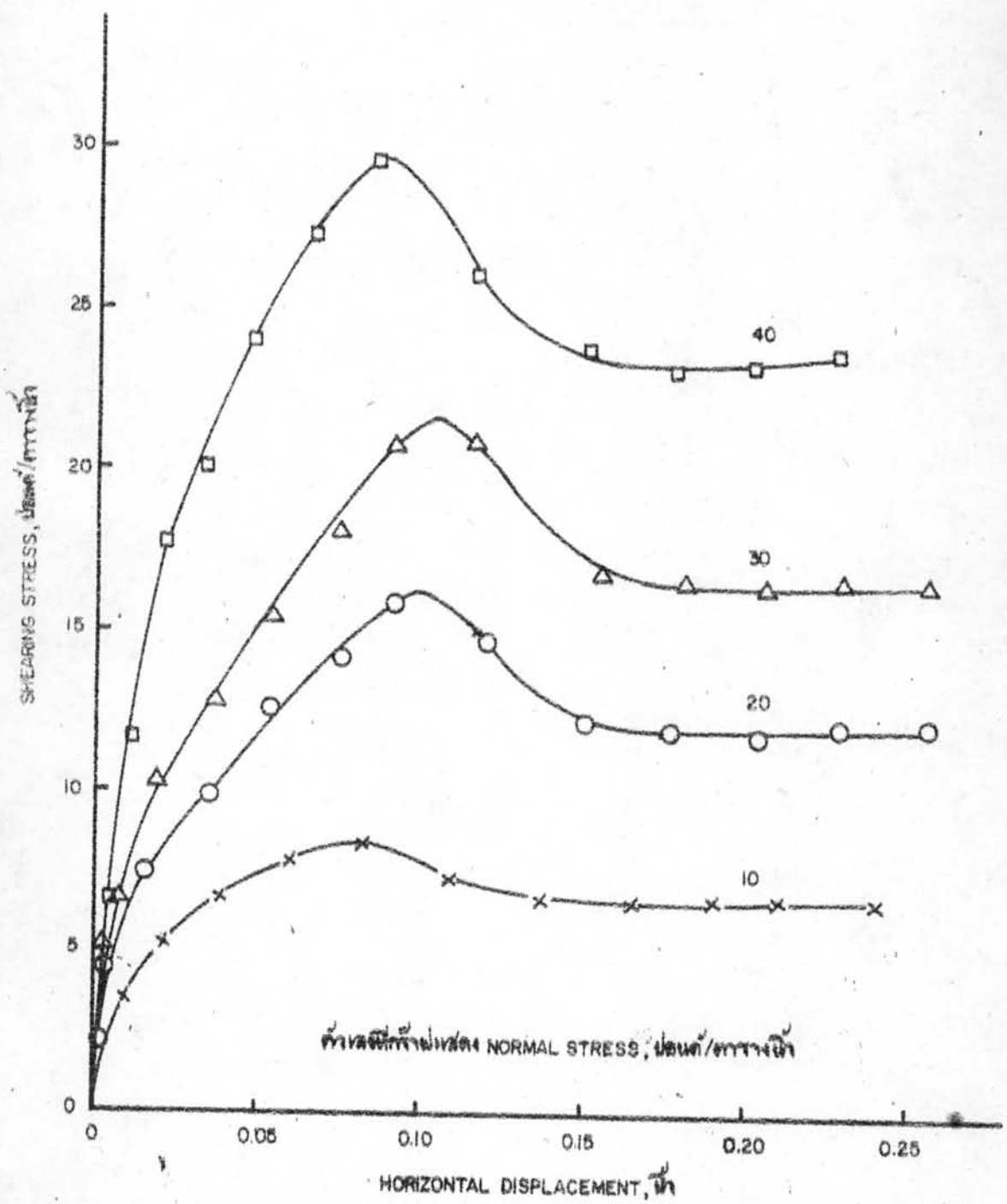


รูปที่ 29.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง SHEARING STRESS กับ HORIZONTAL DISPLACEMENT

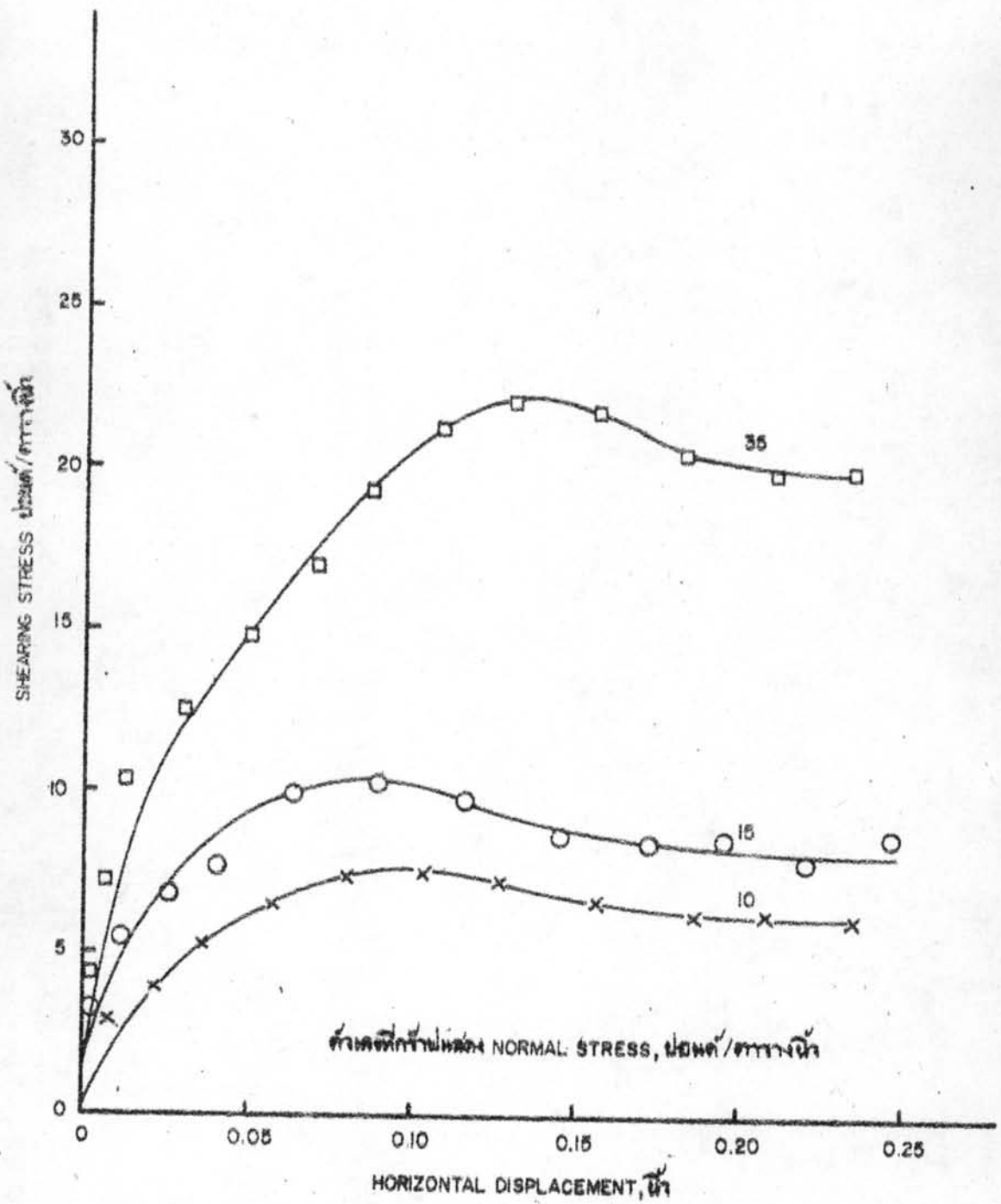


รูปที่ 29.1. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับความเค้นดัดตามแนวนอน

รูปที่ 29.1. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับความเค้นดัดตามแนวนอน SHEARING STRESS VS. HORIZONTAL DISPLACEMENT

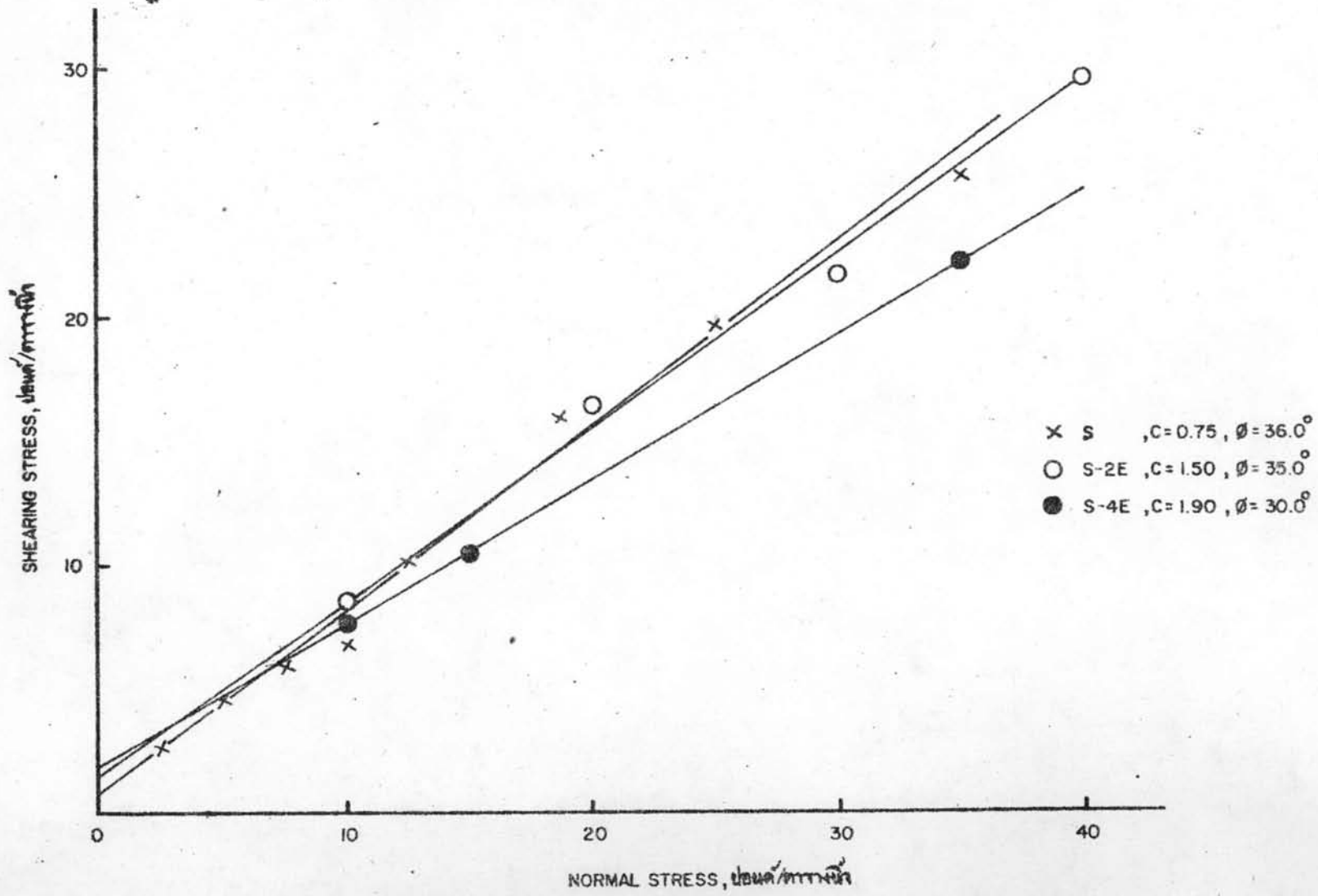


รูปที่ 30. ความสัมพันธ์ระหว่าง SHEARING STRESS กับการเคลื่อนที่ HORIZONTAL DISPLACEMENT ของทรายแห้งภายใต้ความดันปกติ 2 %

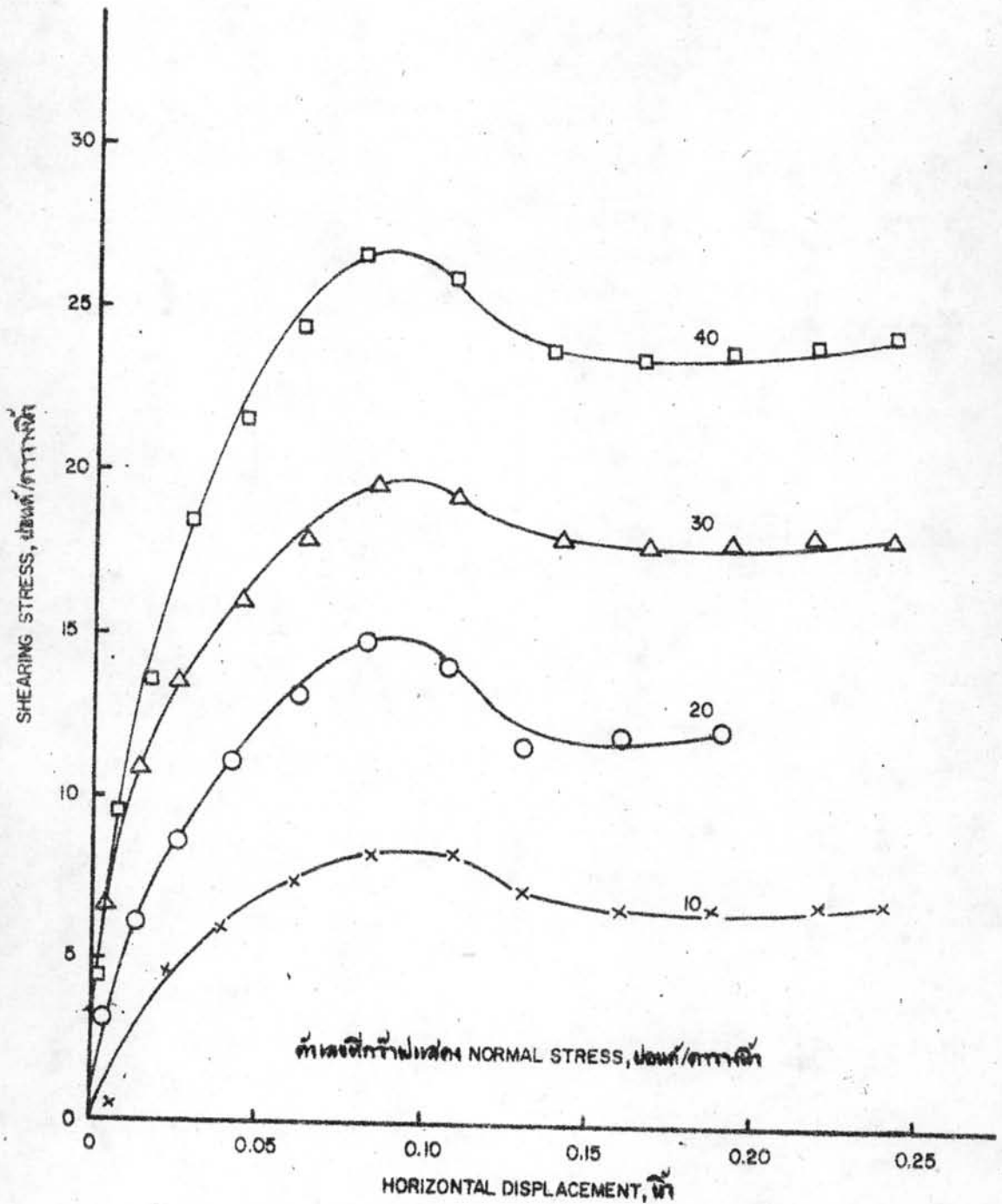


ค่าคงที่การไหล NORMAL STRESS, กิโลกรัม/ตารางนิ้ว

รูปที่ 31. ความสัมพันธ์ของ SHEARING STRESS กับการเคลื่อนที่ของดินภายใต้การกดทับ 4%

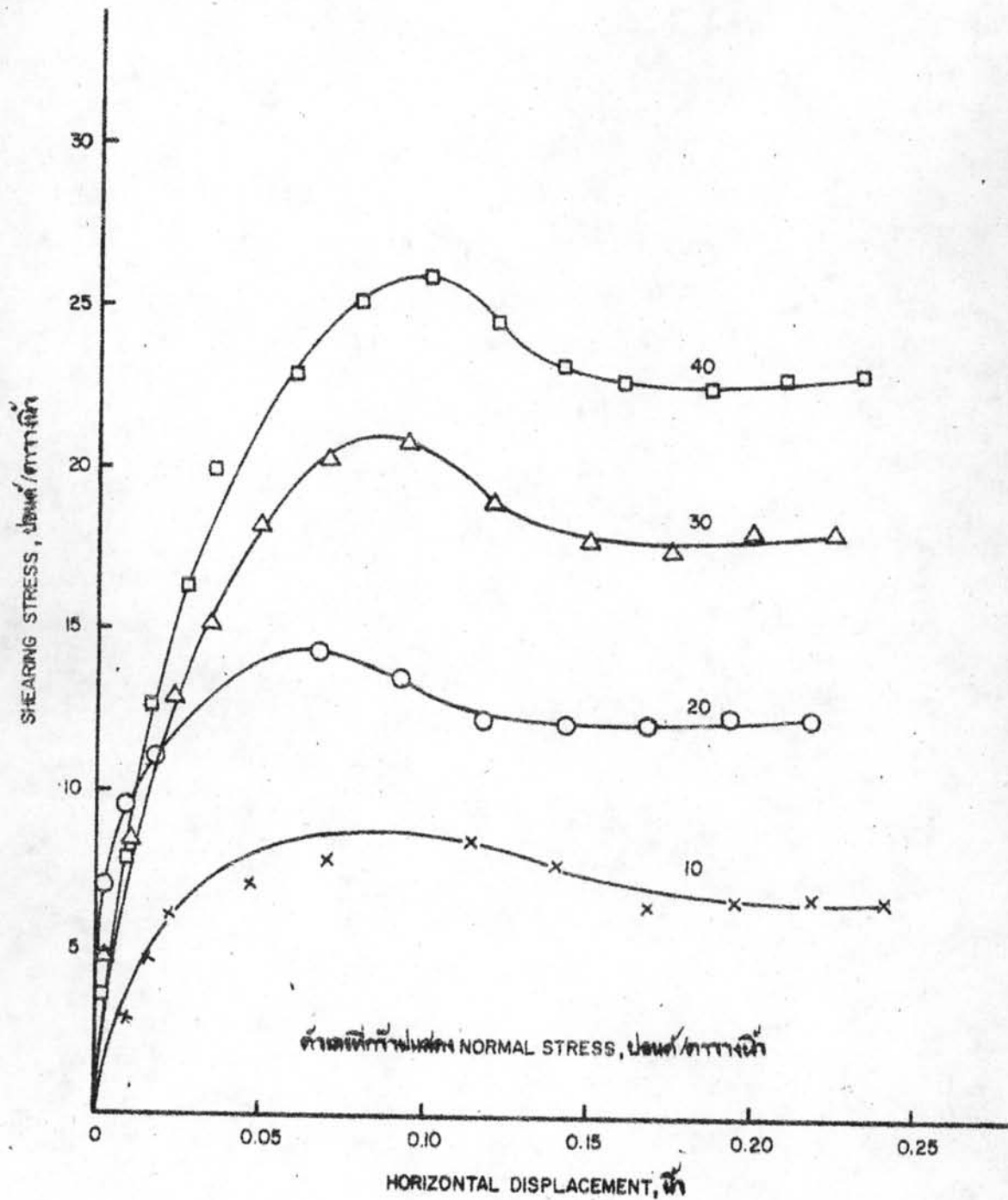


รูปที่ 32. ความสัมพันธ์ระหว่าง NORMAL STRESS และ SHEARING STRESS ของดินเหนียวที่อัดแน่น

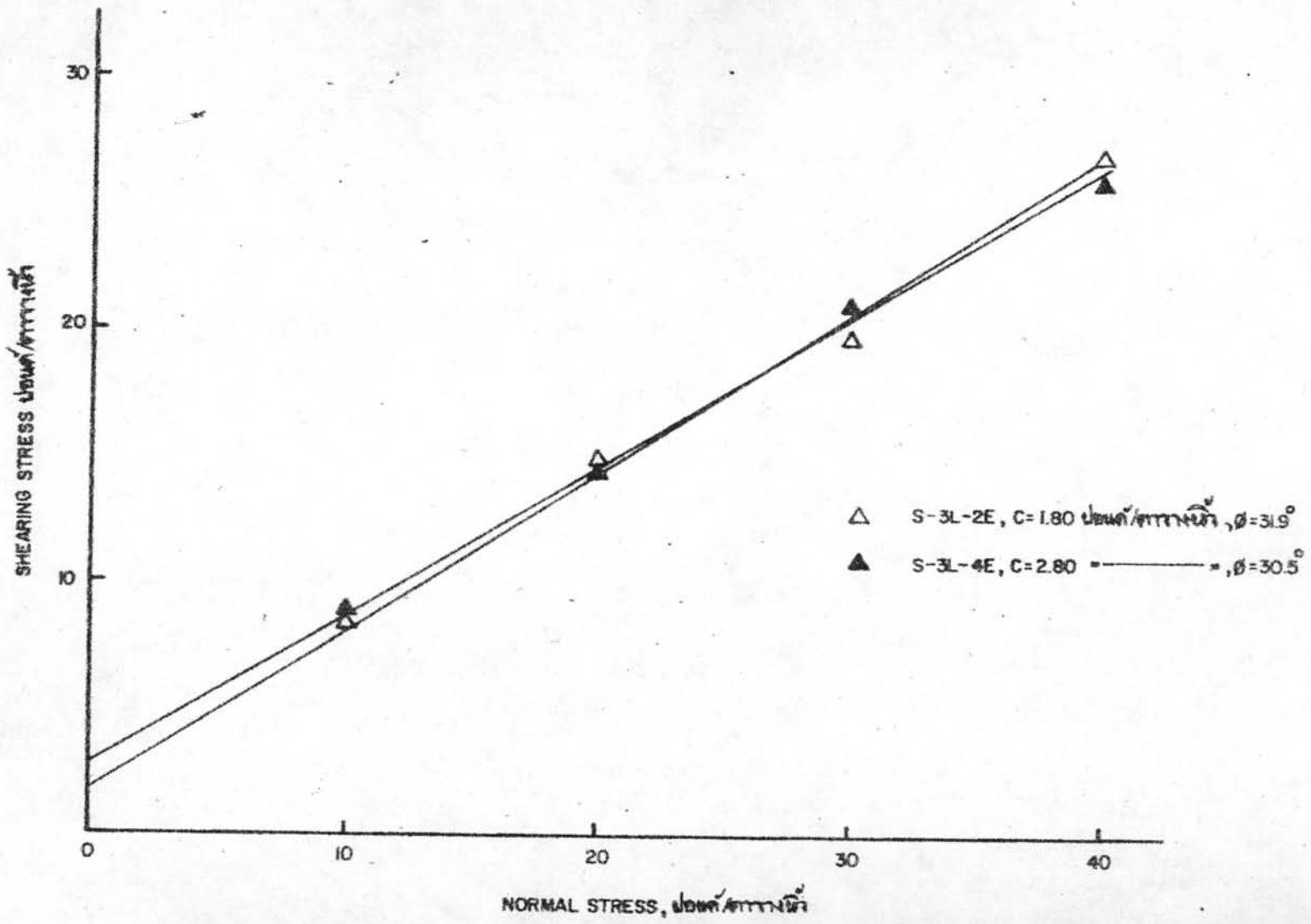


รูปที่ 33. ความสัมพันธ์ของ SHEARING STRESS กับ HORIZONTAL DISPLACEMENT ของทรายผสมปูน 3%  
 หรือผงขี้เถ้า 2%

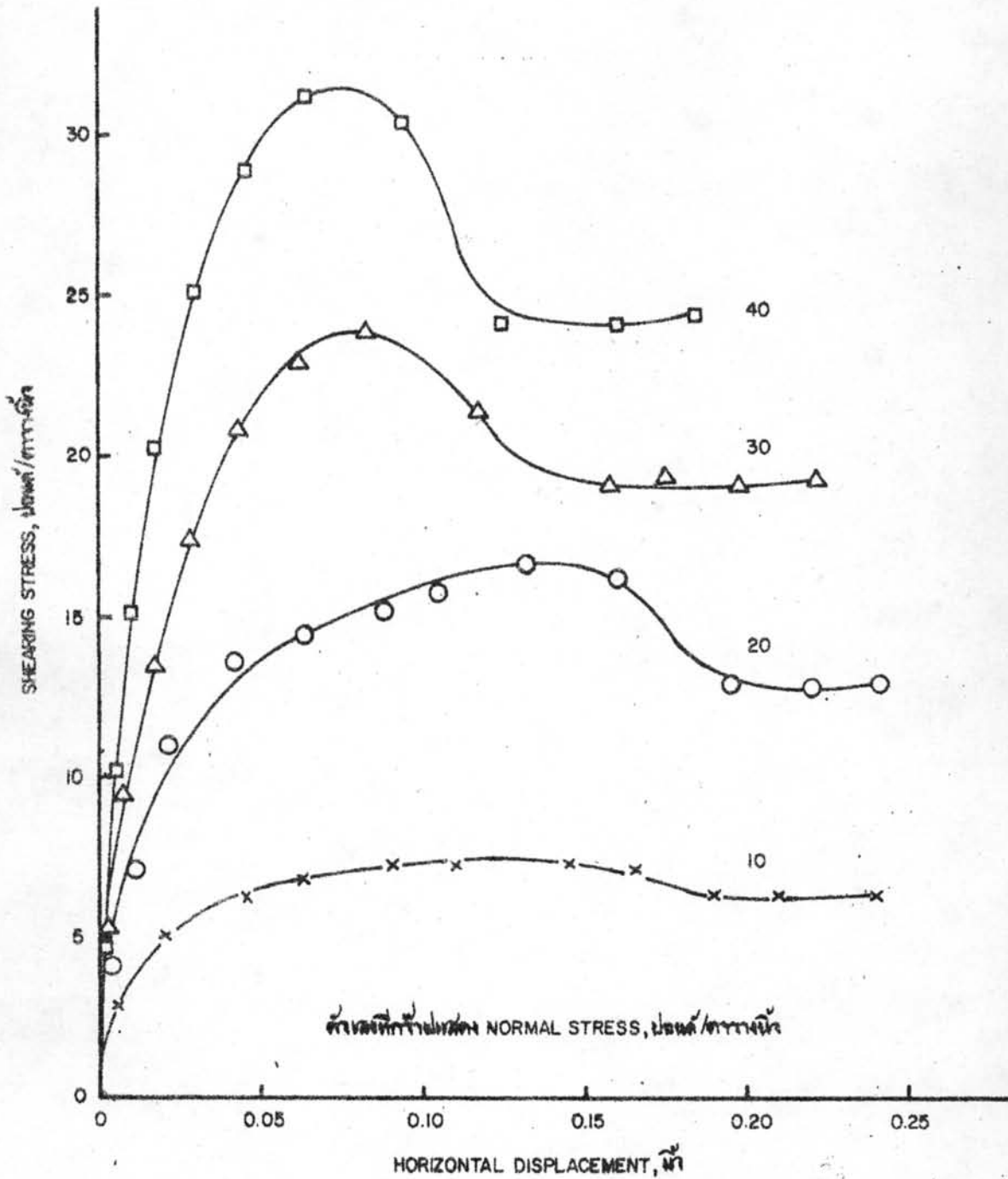




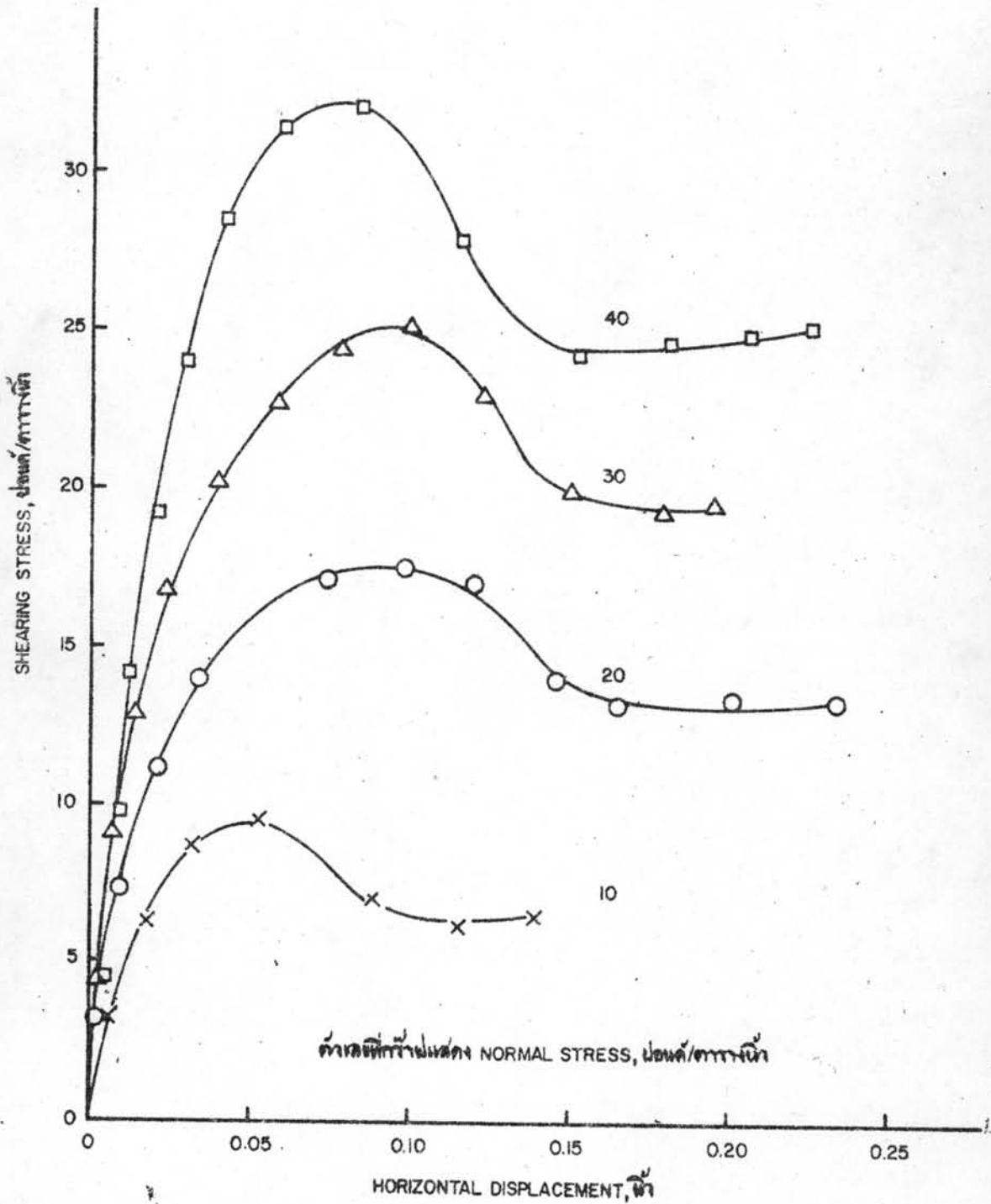
รูปที่ 34. ความสัมพันธ์ระหว่าง SHEARING STRESS และ HORIZONTAL DISPLACEMENT สำหรับความเค้นปกติ 15% และ 4%



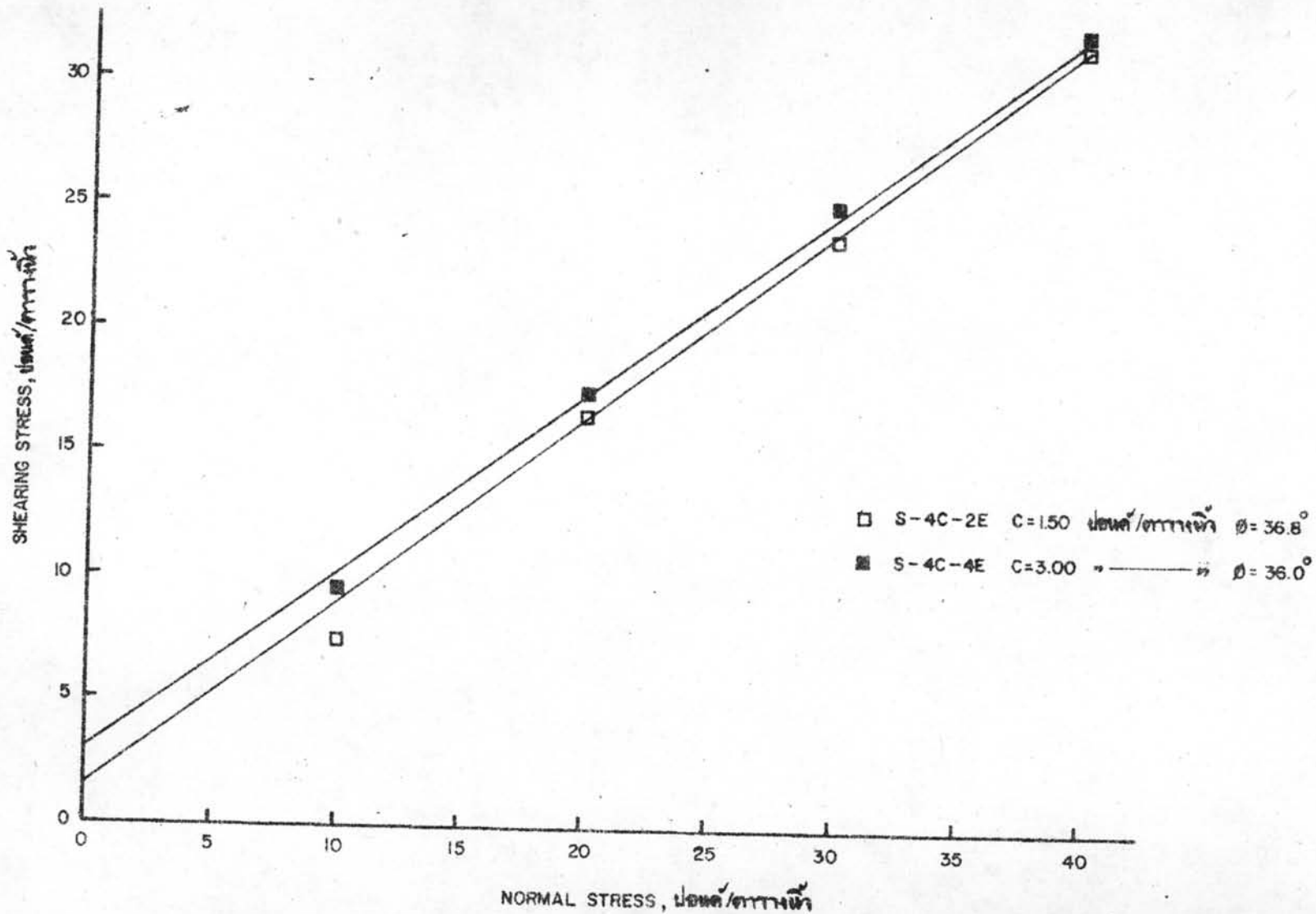
รูปที่ 35. ความสัมพันธ์ระหว่าง NORMAL STRESS และ SHEARING STRESS ของดินเหนียวและดินปนทราย



รูปที่ 36. ความสัมพันธ์ของ SHEARING STRESS และ HORIZONTAL DISPLACEMENT ของความดันปกติที่กระทำ 4% และ 2% ของความดัน



รูปที่ 37. ความสัมพันธ์ของ SHEARING STRESS และ HORIZONTAL DISPLACEMENT ของดินเหนียวที่มีอัตราความชื้น 4% และขนาดอนุภาค 4%



รูปที่ 38. ความสัมพันธ์ระหว่าง NORMAL STRESS และ SHEARING STRESS ในดินเหนียวที่มีค่าความดันน้ำ

๓.๓.๓ ผลของการบ่ม

ส่วนผลบ่มที่ทำการทดลองหากำจัดรับน้ำหนักภายหลังจากบ่มได้แก่ S-2E, S-4E, S-3L-2E, S-3L-4E, S-4C-2E และ S-4C-4E ส่วนผสมชนิดต่าง ๆ บ่มที่อุณหภูมิห้อง (Room Temperature) เป็นเวลา ๑, ๓, ๗, ๑๕ และ ๓๐ วัน หลังจากนั้นจึงนำไปทำการทดลองหากำจัดรับน้ำหนัก ๒ วิธี คือ

ก. ทดลอง Hveem Stabilometer และ Cohesimeter ตามวิธี Standard Method ของ Chevron Asphalt Company (๘) เมื่อบ่มตัวอย่างไว้ในอากาศและในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิธรรมดาในห้อง ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ ๓๘ ถึง ๔๕

ข. ทดลอง CBR เมื่อบ่มในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิธรรมดาในห้องทดลอง หลังจากบ่มตามกำหนดเวลาในช่วงต้นนำวัสดุตัวอย่างไปแช่น้ำ ๔ วัน แล้วจึงทำการทดลองหาค่า CBR ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ ๔๖

เมื่อวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ บ่มไว้ในอากาศและในถุงพลาสติก ยางมะตอยน้ำที่ยึดเกาะที่ผิวหน้าของทรายหรือทรายผสมปูนขาวจะบ่มน้ำในยางมะตอยน้ำหรือที่ผิวหน้าของวัสดุทรายหรือทรายผสมปูนขาว ปริมาณน้ำเหล่านี้จะระเหยออกไปตามระยะเวลาในการบ่ม ซึ่งจะมีผลให้ Viscosity หรือความหนืดของยางมะตอยลดลง ทำให้ยางมะตอยมีคุณสมบัติแข็งและเหนียวขึ้น ทำให้การยึดเกาะระหว่างเม็ดทรายโดยยางมะตอยดีขึ้น ค่า C-Value และ Rt-Value จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น จากเส้นโค้งที่แสดงผลของการบ่ม ในช่วงแรก ๆ ของการบ่มอัตราการระเหยของน้ำจะสูงและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งจะทำให้ค่า C-Value, Rt-Value และค่า CBR มีอัตราเพิ่มสูงในช่วงแรกและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบการบ่มในถุงพลาสติกและการบ่มในอากาศของวัสดุผสม S-2E และ S-4E จากรูปที่ ๓๘ จะเห็นว่า การบ่มในอากาศจะมีค่า C-value และ

Rt-Value เพิ่มขึ้นมากกว่าการบ่มในถุงพลาสติก เมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากอิทธิพลการระเหยของน้ำในวัสดุตัวอย่างที่มีในอากาศสูงกว่าการบ่มในถุงพลาสติกซึ่งมีการระเหยของน้ำต่ำ จากเหตุผลเหล่านี้จะทำให้ C-Value เมื่อบ่มในอากาศมีค่าสูงกว่าเมื่อบ่มในถุงพลาสติก และเมื่อปริมาณน้ำในตัวอย่างลดลง การหลอกล่อนการเคลื่อนตัวของเม็ดวัสดุจะลดลงทำให้แรงเสียดทานการเคลื่อนตัวระหว่างเม็ดวัสดุเพิ่มขึ้น รวมทั้งผลการเพิ่มค่า C-Value ดังกล่าว จะทำให้ค่า Rt-Value ภายหลังการบ่มตัวอย่างในอากาศมีค่าสูงกว่าการบ่มในถุงพลาสติก เมื่อเปรียบเทียบสภาพการบ่มของวัสดุผสม S-L-E จะใกล้เคียงเกี่ยวกับการบ่มของวัสดุผสม S-E วัสดุผสม S-3L-2E และ S-3L-4E เมื่อบ่มในอากาศจะมีค่า C-Value และ Rt-Value สูงกว่าเมื่อบ่มในถุงพลาสติก ซึ่งอาจอธิบายได้เช่นเดียวกับกับวัสดุผสม S-E ดังกล่าวในข้างต้น และยังมีผลเนื่องมาจากปฏิกิริยา Pozzolanic Reaction ของทรายและปูนขาวในวัสดุผสมทำให้แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุแข็งแรงยิ่งขึ้น เมื่อปริมาณน้ำในวัสดุผสมระเหยออกไป แต่จากผลของการทดลองวัสดุผสม S-C-E ให้ผลแตกต่างจาก S-E และ S-L-E ไปบ้าง สังเกตได้จากเส้นโค้งในรูปที่ ๔๑ ค่า Rt-Value และ C-Value ของการบ่มในอากาศจะมีค่าสูงกว่าการบ่มในถุงพลาสติกในช่วงแรกของการบ่ม เมื่อระยะเวลาในการบ่มมากกว่า ๒๕ - ๓๐ วัน วัสดุผสม S-4C-2E มีแนวโน้มจะให้ค่า C-Value และ Rt-Value เมื่อบ่มในถุงพลาสติกสูงกว่าเมื่อบ่มในอากาศ แต่ในวัสดุผสม S-4C-4E เมื่อระยะเวลาในการบ่มมากกว่า ๒ วัน ค่า C-Value และ Rt-Value ของการบ่มในถุงพลาสติกจะมีค่าสูงกว่าเมื่อบ่มในอากาศ การบ่มทั้ง ๒ ลักษณะนี้คืออิทธิพลการระเหยของน้ำเมื่อบ่มในอากาศจะมีค่าสูงกว่า ทำให้ผลของการยึดเกาะจากปฏิกิริยา Hydration ของทรายและปูนซีเมนต์ จะสร้างโครงสร้างของการยึดเกาะกันที่แข็งแรงกว่าเมื่อปริมาณน้ำระเหยไปไคมากในช่วงแรกของการบ่ม แต่เมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยา Hydration ของวัสดุผสมที่มีในถุงพลาสติกจะค่อย ๆ ค้ำเนินไปไคสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น การบ่มในช่วงหลังจึงทำให้ค่า C-Value และ Rt-Value สูงกว่าตัวอย่างที่มีในอากาศ

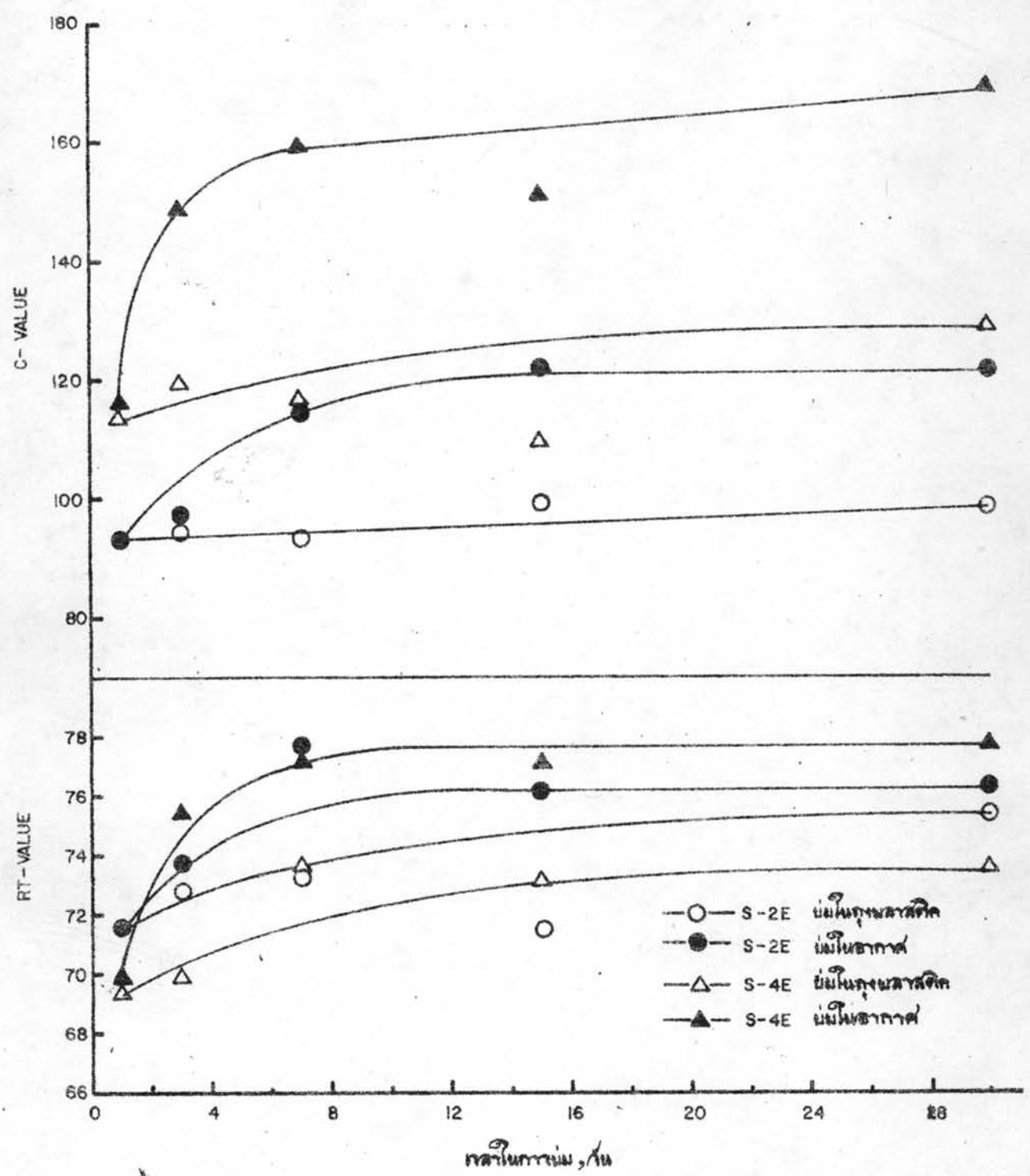
เมื่อเปรียบเทียบค่า C-Value ของวัสดุผสม S-2E และ S-4E ค่า C-Value ของ S-4E ภายหลังจากการบ่มเป็นเวลา ๓๐ วัน ค่า C-Value ของ S-4E ยังคงมีค่าสูงกว่า S-2E เมื่อเปรียบเทียบกันทั้งในสภาพการบ่มในอากาศและในถุงพลาสติก ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า S-4E มีปริมาณยางมะตอยน้ำที่เหลือหลังจากน้ำระเหยออกไป (Asphalt Residue) มากกว่า และมีฟิล์มยางมะตอยที่ผิวทรายนานกว่า S-2E ดังนั้นภายหลังจากการบ่มในช่วง ๓๐ วันที่ทำการทดลอง ค่า C-Value ของ S-4E มีค่าสูงกว่า S-2E ในสภาพการบ่มทั้ง ๒ แบบ เมื่อพิจารณาจาก Rt-Value จะเห็นว่าเมื่อบ่มในถุงพลาสติก S-4E จะมีค่า Rt-Value น้อยกว่า S-2E เนื่องจากผลของการหลุดร่อนระหว่างเม็ดวัสดุ S-4E ภายหลังจากการบ่มยังคงมีค่าสูงอยู่นั่นเอง ความมของความเสี่ยงทานภายในของวัสดุผสม S-4E จึงยังคงน้อยกว่า S-2E แต่เมื่อวัสดุผสมบ่มในอากาศค่า Rt-Value ของวัสดุผสม S-4E มีค่าสูงกว่า S-2E เนื่องจากผลของการหลุดร่อนการเคลื่อนตัวของเม็ดวัสดุโดยยางมะตอย เมื่อน้ำระเหยออกไปมากจะให้น้ำน้อยลง สำหรับวัสดุผสม S-3L-2E และ S-3L-4E จะเห็นว่าเมื่อบ่มในสภาพเดียวกัน S-3L-4E จะมีค่า C-Value และ Rt-Value ภายหลังจากการบ่มเป็นเวลา ๓๐ วัน สูงกว่า S-3L-2E เนื่องจาก S-3L-4E มีปริมาณยางมะตอยที่เหลืออยู่หลังจากน้ำในยางมะตอยน้ำระเหยออกไป แรงยึดเกาะของยางมะตอยน้ำและทรายนผสมปูนขาว จึงเพิ่มขึ้นมากกว่า S-3L-2E ดังได้อธิบายไว้ในวัสดุผสม S-E ดังนั้นค่า C-Value ของวัสดุผสม S-3L-4E จึงมีค่าสูงกว่าเมื่อระยะเวลาในการบ่มมากกว่า ๑ วัน และจากผลที่แรงยึดเกาะของ S-3L-4E สูงกว่า S-3L-2E ทำให้ค่า Rt-Value ของ S-3L-4E สูงกว่าด้วยทั้งในสภาพการบ่ม ๒ แบบ แต่ในวัสดุผสม S-C-E ให้ผลที่แตกต่างจากวัสดุผสม S-E และ S-L-E เนื่องจากค่า C-Value และ Rt-Value ส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยา Hydration ของทรายและปูนซีเมนต์ เมื่อบ่มวัสดุตัวอย่างในถุงพลาสติก ค่า C-Value และ Rt-Value ของวัสดุผสม S-4C-4E จะสูงกว่า S-4C-2E เล็กน้อย เมื่อระยะเวลาการบ่มอยู่ในช่วง ๓๐ วัน



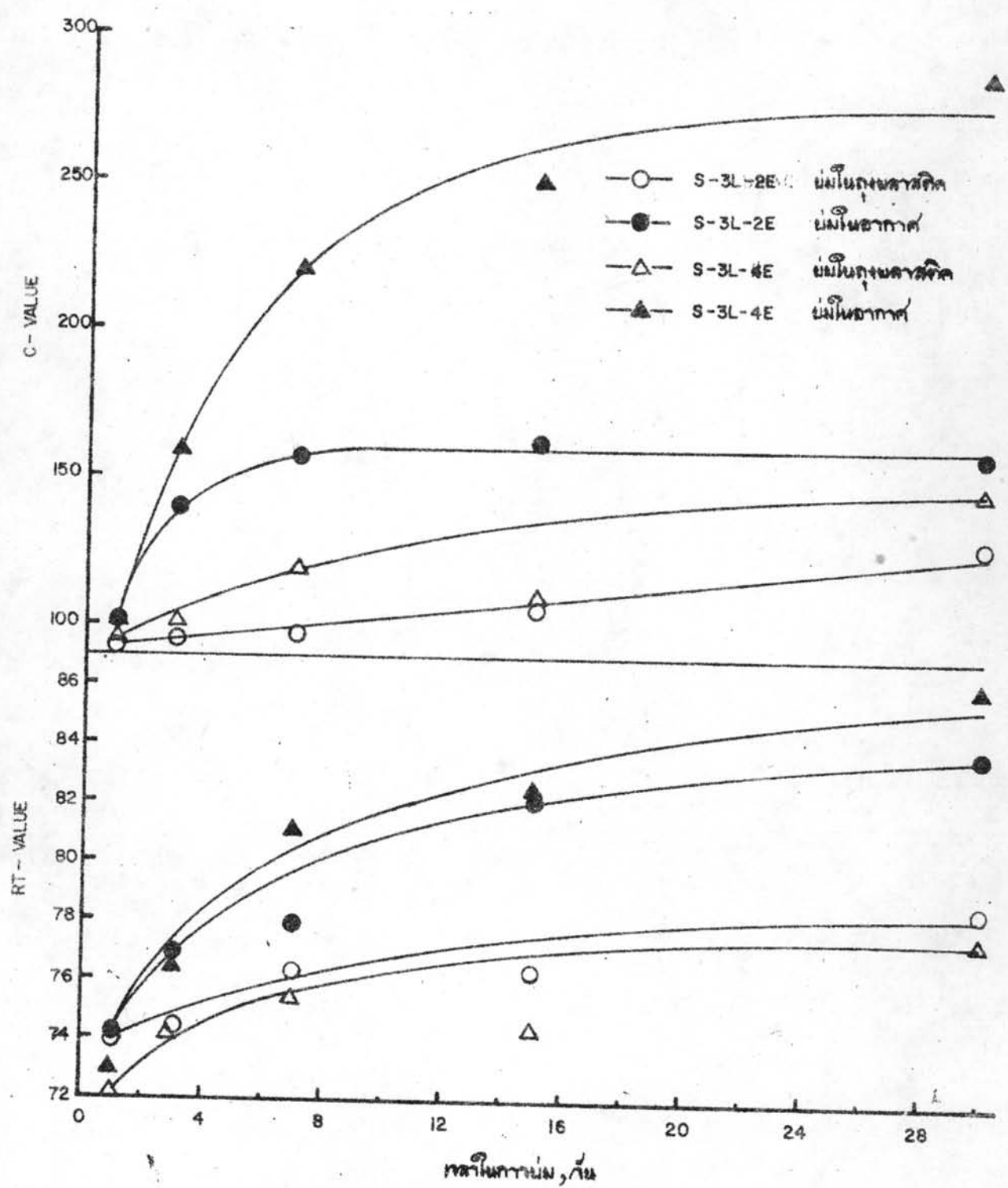
เนื่องจาก S-4C-4E มีปริมาณยางมะตอยน้ำมากกว่าและสามารถรักษาปริมาณน้ำเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา Hydration ได้สมบูรณ์มากกว่า แต่การบ่มตัวอย่างในอากาศจะให้ผลแตกต่างกัน วัสดุผสม S-4C-2E จะให้ค่า C-Value และ Rt-Value ภายหลังจากการบ่มสูงกว่า S-4C-4E มาก เนื่องจาก S-4C-4E มีปริมาณยางมะตอยน้ำมากกว่าซึ่งปริมาณยางมะตอยน้ำจะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยา Hydration การบ่มตัวอย่างในอากาศปริมาณน้ำในตัวอย่างระเหยไต่รวดเร็ว ปฏิกิริยา Hydration จึงมีผลมากในช่วงแรก ๆ ของการบ่ม การจับตัวระหว่างเม็ดทรายของ S-4C-2E จึงมาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการบ่มช่วงแรกและถึงแม้ว่าจะบ่มถึง ๓๐ วันก็ตาม ปริมาณน้ำในตัวอย่างจะเหลือน้อยปฏิกิริยา Hydration จึงเกิดขึ้นน้อย ค่า C-Value และ Rt-Value ของวัสดุผสม S-4C-2E จึงสูงกว่า S-4C-4E มาก

เมื่อเปรียบเทียบ ค่า C-Value และ Rt-Value ของวัสดุผสมต่างชนิดกัน แต่มีปริมาณยางมะตอยน้ำเท่ากัน วัสดุผสม S-4C-2E และ S-4C-4E จะให้ค่า C-Value และ Rt-Value ภายหลังจากการบ่มสูงกว่าวัสดุผสมชนิดอื่นเมื่ออยู่ในสภาพการบ่มทั้ง ๒ แบบ เนื่องจาก S-C-E จะมีผลจากปฏิกิริยา Hydration ซึ่งจะสร้างแรงยึดเกาะระหว่างทรายและปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นซึ่งวัสดุผสมชนิดอื่นไม่มีหรือน้อย วัสดุผสม S-3L-2E และ S-3L-4E จะมีค่า C-Value และ Rt-Value สูงกว่า S-2E และ S-4E ตามลำดับทั้งสภาพการบ่มในถุงพลาสติกและในอากาศ เนื่องจาก S-L-E จะสร้างแรงยึดเกาะระหว่างทรายและปูนขาวเพิ่มขึ้นมากกว่าวัสดุผสม S-E จากปฏิกิริยา Pozzolanic Reaction ซึ่ง S-E ไม่มี

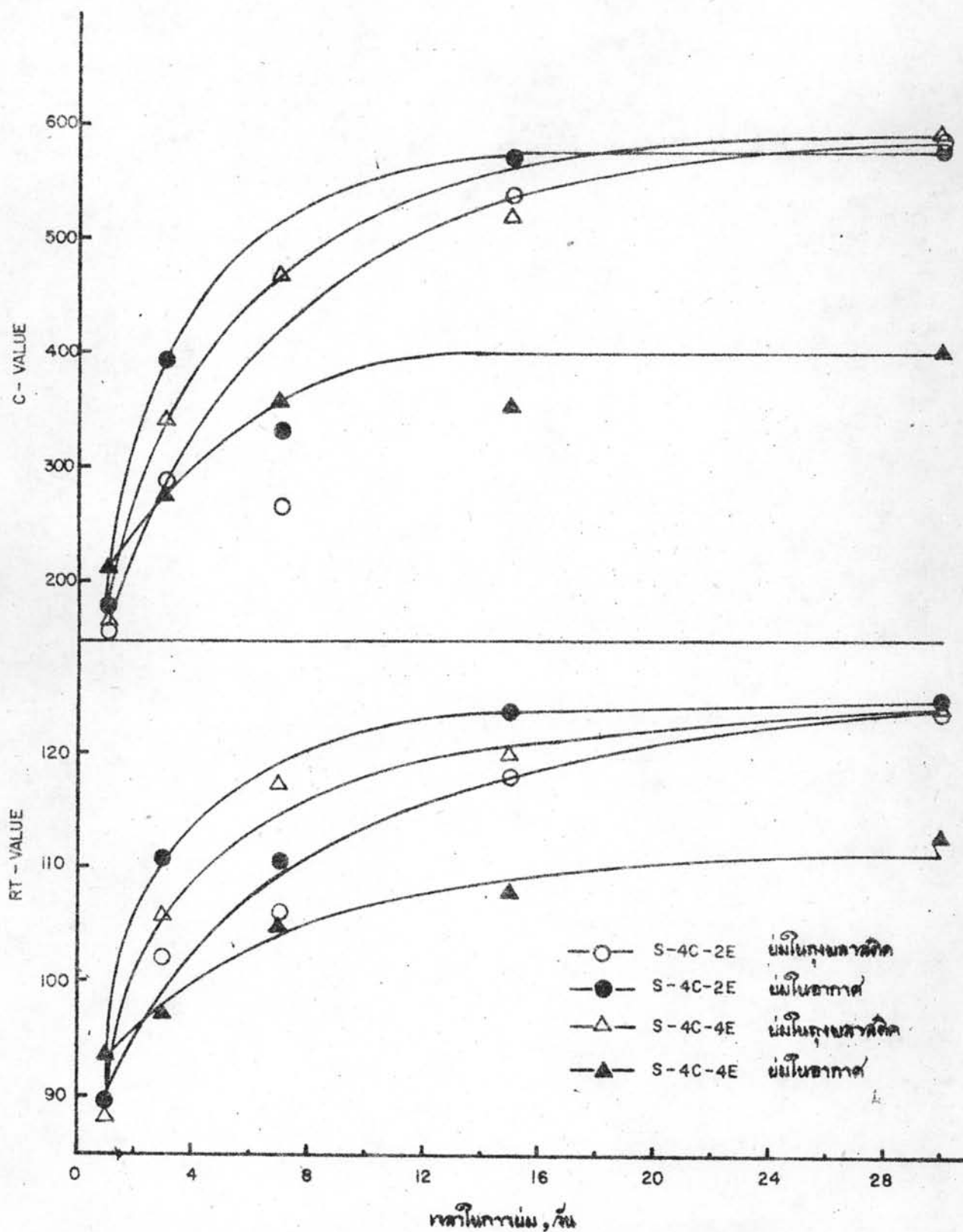
รูปที่ ๘๖ แสดงการบ่มที่วัดค่า CBR ค่า CBR ของวัสดุผสมเหล่านี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำในวัสดุตัวอย่างระเหยออกไปทำให้การจับตัวของยางมะตอยกับเม็ดทรายดีขึ้น การเพิ่มค่า CBR ของวัสดุผสมเหล่านี้จะมีอัตราการเพิ่มสูงในช่วงแรกและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อบ่มนานขึ้น เนื่องจากในการบ่มช่วงท้ายจะมีการระเหยของน้ำและปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นน้อยลง การบ่มในช่วงแรก ๆ



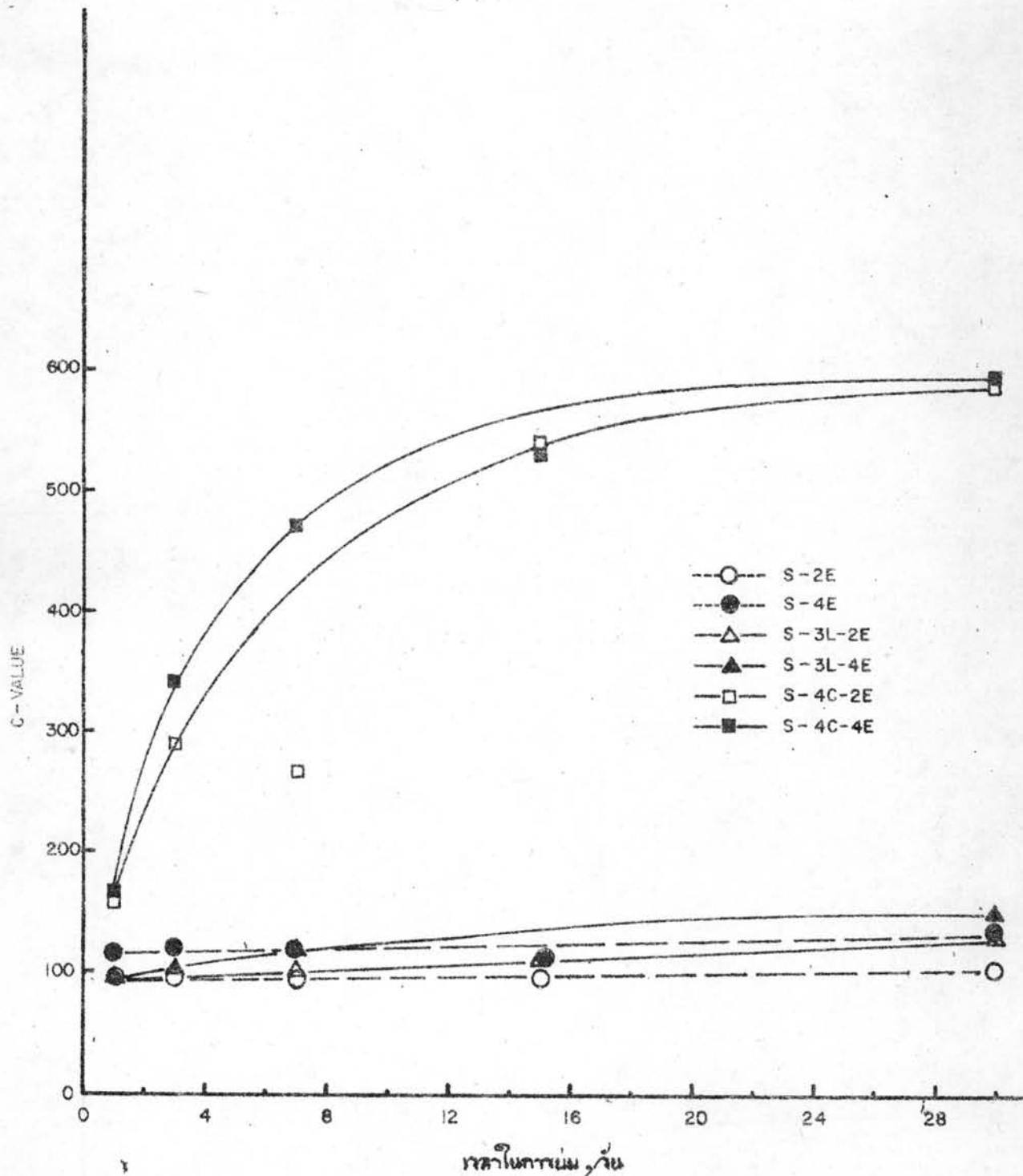
รูปที่ 39. ผลของการต้มเป็นเวลา C-VALUE และ RT-VALUE ของกระดาษพิมพ์บางชนิด



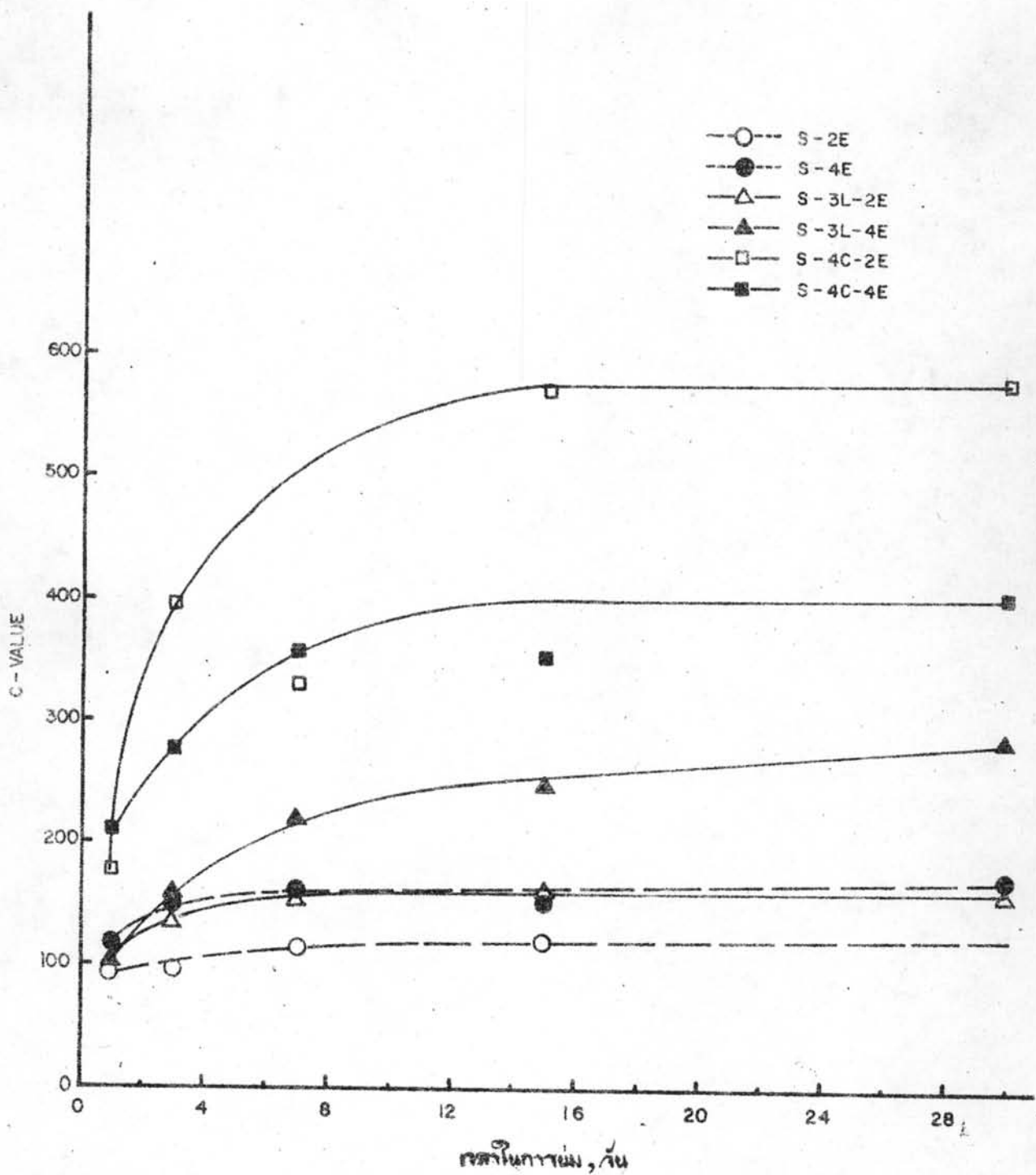
รูปที่ 40. ผลของการใช้ยาฆ่าแมลง C-VALUE และ RT-VALUE ของการควบคุมการระบาดของแมลงศัตรูพืช



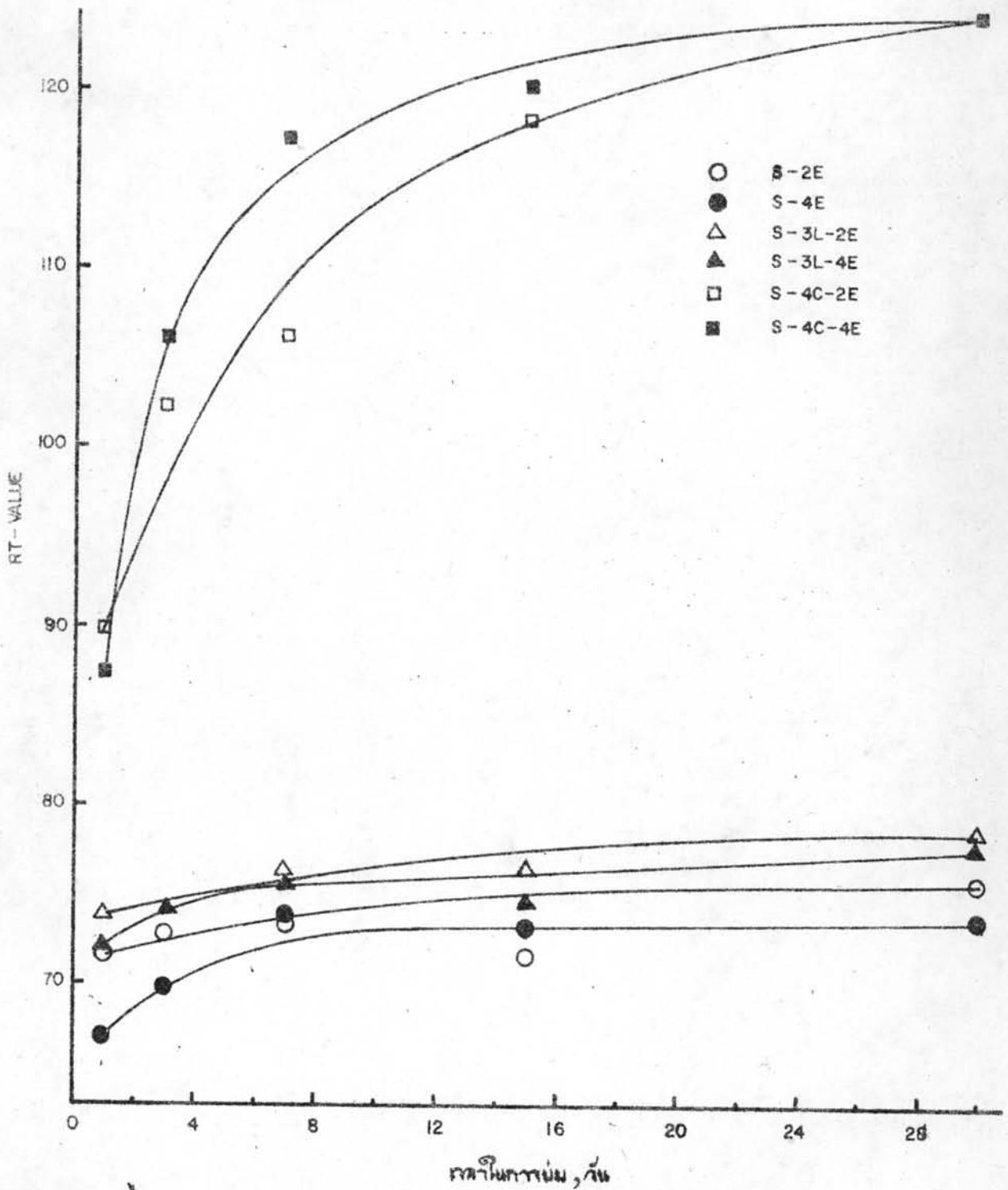
รูปที่ 41. ผลของการต้มที่มีต่อ C-VALUE, RT-VALUE ของพลาสม่าที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวี



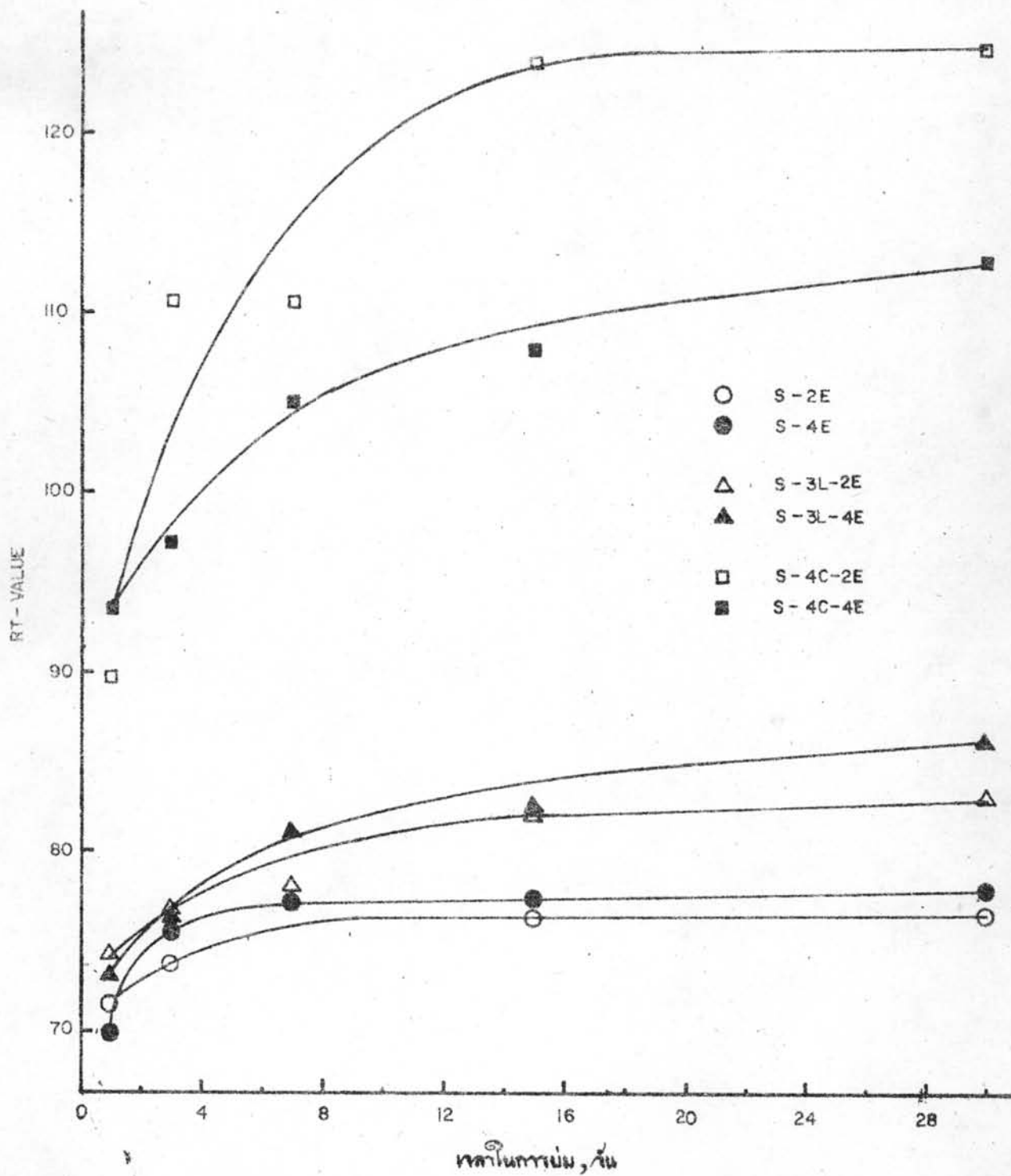
รูปที่ 42 ผลของการทดลองที่มีต่อ C-VALUE เมื่อเพิ่มในทฤษฎีเวลา



รูปที่ 43. ผลของการหมักของ C-VALUE ในของหมักต่างๆ



รูปที่ 44. ผลของการบำบัดที่มีต่อ RT-VALUE ในดินปนเปื้อนสารพิษ

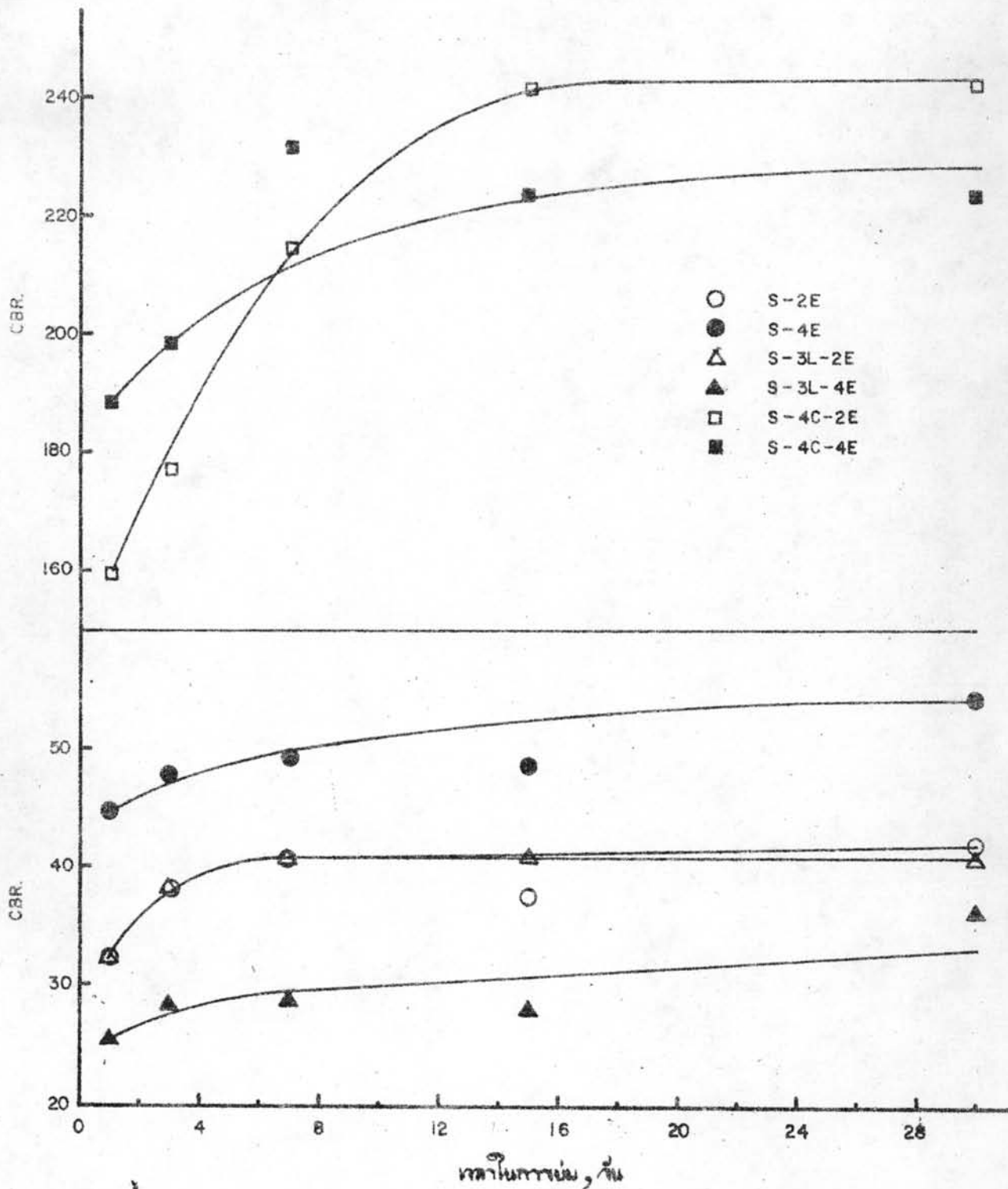


รูปที่ 45 ผลของการต้มที่มีต่อ RT-VALUE ของนมผงสำเร็จรูป



วัสดุผสมที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำ ๒ % จะมีอัตราการเพิ่มค่า CBR สูงขึ้นมากและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาในการบ่มนานขึ้น แต่วัสดุผสมที่มียางมะตอยน้ำ ๔ % ค่า CBR จะมีการเพิ่มในอัตราที่สูงนัก ซึ่งสังเกตได้จากเส้นโค้งดังในรูปที่ ๔๖ จะเห็นว่าวัสดุผสม S-2E, S-4E, S-3L-2E, S-3L-4E, S-4C-2E และ S-4C-4E จะมีความชันของเส้นโค้งน้อยที่ระยะเวลาในการบ่มประมาณ ๘, ๒๐, ๓, ๑๐, ๑๓ และ ๒๕ วัน ตามลำดับ ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำ ๒ % จะมีการปิดกั้นการระเหยของน้ำไอน้อยกว่าน้ำจึงระเหยได้มากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบค่า CBR ของวัสดุที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำ ๒ % และ ๔ % จะเห็นว่า S-4E มีค่า CBR สูงกว่า S-2E แม้ว่าจะบ่มถึง ๓๐ วัน ก็ตาม ค่า CBR ของ S-4E ก็ยังคงสูงกว่า S-2E ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของการบดอัดซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อ ๓.๑ และ ๓.๒ S-4E สามารถบดอัดได้ที Energy สูงกว่า S-2E เมื่อบดอัดด้วยวิธี Energy ชนิด Modified Proctor จากการสังเกตวัสดุผสม S-2E จะมีพลังงานในการบดอัดสูงไป ซึ่งพลังงานในการบดอัดสูงเกินไปไม่ทำให้ กำลังรับน้ำหนักและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเลย และเหตุผลอีกข้อหนึ่ง S-4E มีการยึดเกาะระหว่างเม็ดทรายดีกว่า S-2E มาก ดังนั้นค่า CBR ของ S-4E จึงสูงกว่า S-2E แต่ค่า CBR ของวัสดุผสม S-L-E มีลักษณะแตกต่างกับ S-E วัสดุผสม S-3L-2E จะมีค่า CBR สูงกว่า S-3L-4E เนื่องจากมียางมะตอยที่ลดการเคลื่อนตัวของเม็ดวัสดุน้อยกว่าในวัสดุผสม S-3L-2E ดังนั้นคามุมของความเสียหายภายในของเม็ดวัสดุผสม S-3L-2E จึงมีค่าสูงกว่า และ S-3L-4E จะมีปริมาณยางมะตอยน้ำซึ่งจะปิดกั้นการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของปูนขาวมากกว่า ดังนั้นค่า CBR ของวัสดุผสม S-3L-2E จึงมีค่าสูงกว่า S-3L-4E และจากผลการทดลอง S-C-E จะได้ผลแตกต่างจาก S-E และ S-L-E เนื่องจากในช่วงการบ่มน้อยกว่า ๘ วัน S-4C-4E จะมีค่า CBR สูงกว่า S-4C-2E การบ่มในช่วงแรกนี้ S-4C-4E จะมีปริมาณยางมะตอยน้ำมากกว่า ซึ่งจะทำให้มีแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุมากกว่า



รูปที่ 46. ผลของการบ่มที่มีต่อ CBR.

แต่เมื่อเวลาในการบ่มผ่านไป S-4C-4E จะมีปริมาณยางมะตอยน้ำมากกว่า ซึ่งจะปิดกั้น การเกิดปฏิกิริยา Hydration ทำให้วัสดุ S-4C-2E มีปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยา Hydration กับทรายได้มากกว่า ทำให้ CBR ของ S-4C-2E มีค่าสูงกว่าวัสดุผสม S-4C-4E เมื่อระยะเวลาในการบ่มมากกว่า ๗ วัน

เมื่อเปรียบเทียบค่า CBR ของวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ วัสดุผสม S-C-E จะมีค่า CBR สูงกว่าส่วนผสมชนิดอื่นเนื่องจากปฏิกิริยา Hydration ของปูนซีเมนต์และ ทราย เมื่อระยะเวลาในการบ่มจาก ๑ วันถึง ๓๐ วัน ค่า CBR ของ S-4C-2E และ S-4C-4E จะเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ ๔๐ % และ ๔๐ % ตามลำดับ แต่วัสดุผสม S-E และ S-L-E จะมีค่า CBR เพิ่มขึ้นไม่ถึง ๑๐ %

#### ๓.๔ การเปลี่ยนแปลงปริมาณการดูดซึมความชื้น

ปริมาณการดูดซึมความชื้นทำการทดสอบตามวิธีการของ Chevron Asphalt Company 67B - 307 (๕) โดยเปรียบเทียบปริมาณการดูดซึมความชื้นหลังจากเข้อบไอน้ำ (After M.V.S.) ที่อุณหภูมิ ๑๔๐ F เป็นเวลา ๗๒ ชั่วโมง ในการทดสอบใช้ส่วนผสมชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

๑. ทรายผสมยางมะตอยน้ำ ๒ % และ ๔%
  ๒. ทรายผสมปูนขาว ๓ % และยางมะตอยน้ำ ๒ % และ ๔ %
  ๓. ทรายผสมปูนซีเมนต์ ๔ % และยางมะตอยน้ำ ๒ % และ ๔ % ผลการทดลอง
- ดูรูปที่ ๔๗ และ ๔๘

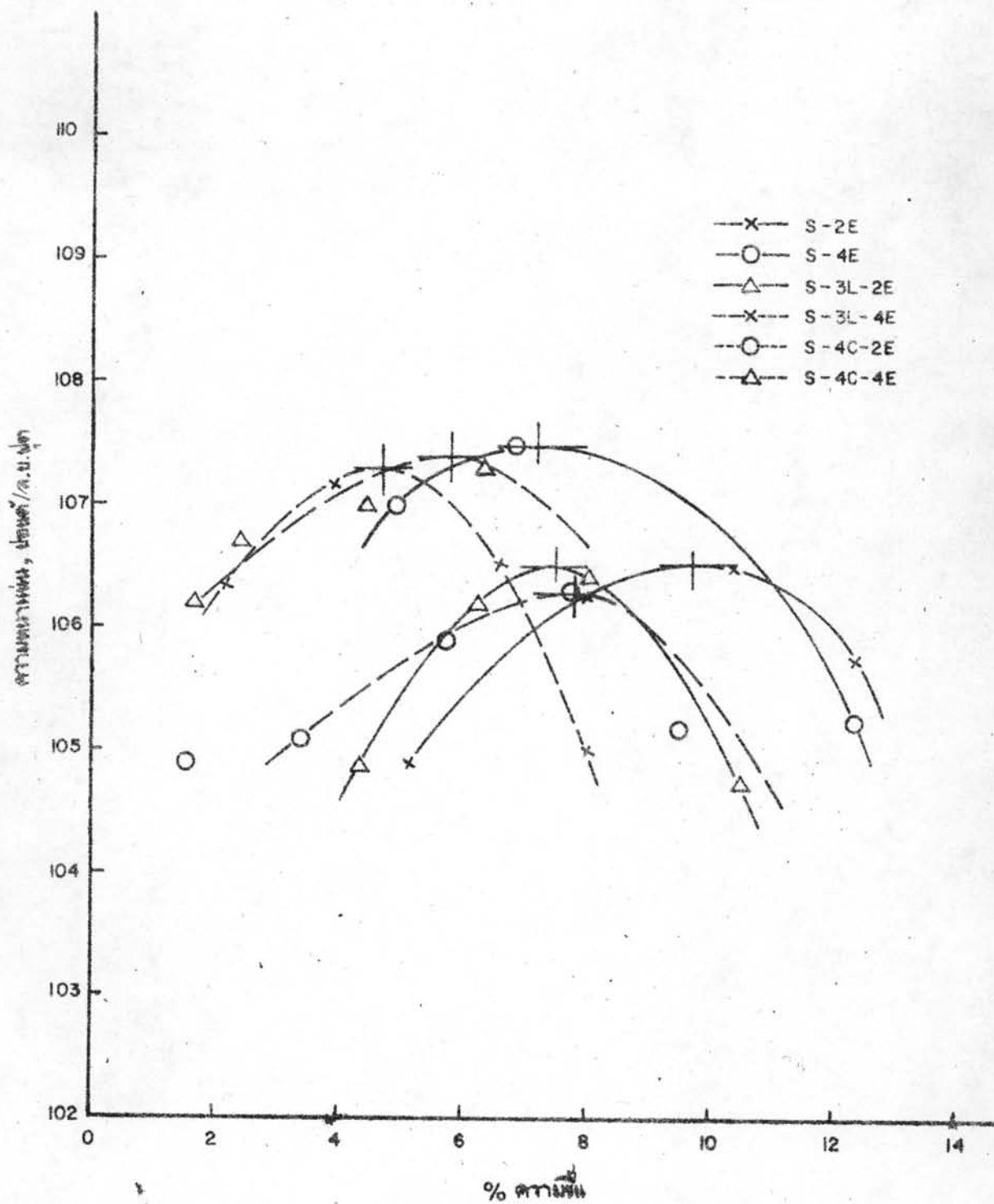
จากรูปที่ ๔๘ จะเห็นได้ว่า เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณการดูดซึม ความชื้นและปริมาณความชื้นในการบดอัดวัสดุตัวอย่างของส่วนผสมชนิดต่าง ๆ มีลักษณะ คล้ายกันเส้นโค้งเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้นในการดูดซึมจะมีค่าลดลง เมื่อ วัสดุตัวอย่างมีปริมาณความชื้นในการบดอัดสูงขึ้น และอาจคาดได้ว่าเมื่อความชื้นในการ บดอัดลดลง (จากหนึ่ง ในสภาพอิ่มตัว (เป็นคุณสมบัติของวัสดุผสมแต่ละชนิด) วัสดุผสม

เหล่านี้จะไม่มีการดูดซึมความชื้นเลย เมื่อพิจารณารูปที่ ๔๗ ทางด้าน Dry Side หรือทางด้านที่มีปริมาณความชื้นน้อยกว่า  $O.M.C.$  วัสดุตัวอย่างจะมีปริมาณความชื้นในการบดค้อนน้อยและมี Air Void หรือช่องว่างที่เป็นอากาศมาก ดังนั้นปริมาณการดูดซึมความชื้นเข้าไปในวัสดุตัวอย่างจึงมาก และเมื่อปริมาณความชื้นในการบดค้อนเพิ่มขึ้นความหนาแน่นเมื่อแห้ง (Dry Density) จะสูงขึ้นปริมาณ Air Void จะลดลงทำให้การดูดซึมความชื้นเข้าไปใน Air Void ลดลง ดังนั้นปริมาณการดูดซึมความชื้นของวัสดุตัวอย่างทางด้าน Dry Side จึงลดลง และเมื่อพิจารณาทางด้าน Wet Side หรือทางด้านที่มีปริมาณความชื้นในการบดค้อนสูงกว่า  $O.M.C.$  เมื่อปริมาณความชื้นในการบดค้อนเพิ่มมากขึ้นจากปริมาณความชื้นที่  $O.M.C.$  ค่าความหนาแน่นเมื่อแห้งจะลดน้อยลงกว่าความหนาแน่นสูงสุดเมื่อแห้ง ลักษณะเส้นโค้งจะเข้าใกล้เส้น Zero Air Void (เส้นโค้งที่แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและความหนาแน่นเมื่อไม่ช่องว่างของอากาศในตัวอย่างเลย) ซึ่งแสดงให้เห็นตัวอย่างจะมีปริมาณ Air Void ลดลง ทำให้ปริมาณการดูดซึมความชื้นเข้าไปใน Air Void ลดลง ดังนั้นทางด้าน Wet Side ปริมาณการดูดซึมความชื้นของวัสดุตัวอย่างจะลดลงไปเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณความชื้นในการบดค้อนเพิ่มมากขึ้น

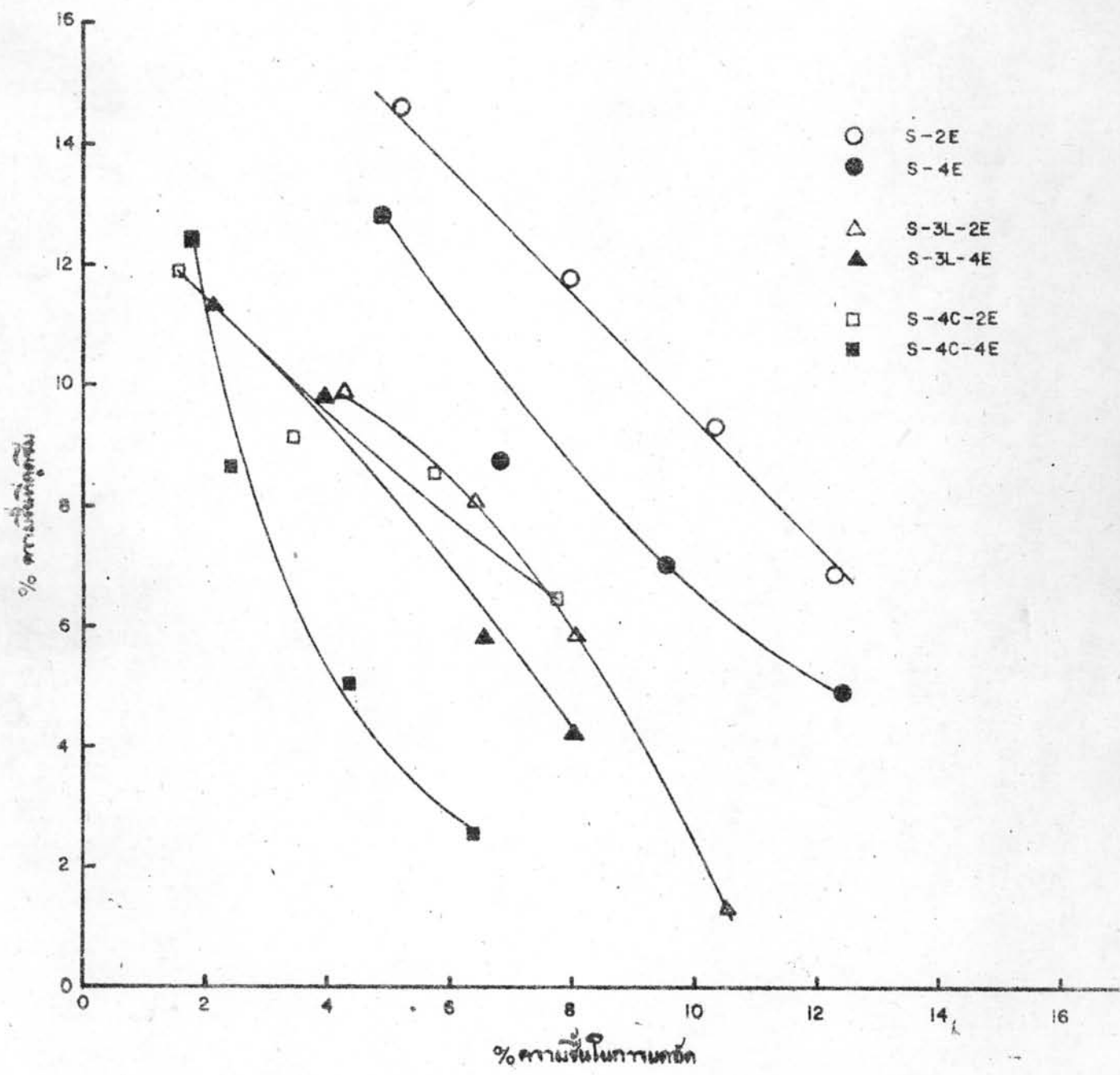
ในรูปที่ ๔๘ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซึมของความชื้นภายหลังอบไอน้ำ วัสดุผสมชนิดเดียวกันและมีปริมาณความชื้นในการบดค้อนเท่ากัน แต่มีปริมาณยางมะตอยน้ำต่างกัน จะเห็นได้ว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำ ๔ % จะมีปริมาณการดูดซึมความชื้นภายหลังอบไอน้ำน้อยกว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำ ๒ % เนื่องจากวัสดุผสมที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำมากกว่าจะสร้าง Bond Linkage หรือแขนของการยึดตัวระหว่างเม็ดวัสดุได้มากและดีกว่า ซึ่ง Bond Linkage จะเป็นส่วนที่ปิดกั้น Flow Channel หรือช่องทางเดินของน้ำในวัสดุตัวอย่างและอาจทำให้ Flow Channel แคบลง ดังนั้นปริมาณการดูดซึมความชื้นภายหลังอบไอน้ำผ่านเข้าไปใน Flow Channel ของวัสดุผสมที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำ ๔ % จึงน้อยกว่าและเป็นไปได้ยากกว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำ ๒ %

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซึมความชื้นภายหลังจากโอบไอน้ำของวัสดุผสมที่มีทรายและยางมะตอยน้ำ หรือ S-E กับวัสดุผสมที่มีทราย ปูนขาว ๓ % และยางมะตอยน้ำเปรียบเทียบที่ปริมาณความชื้นในการบดอัดเท่ากันและปริมาณยางมะตอยน้ำเท่ากัน จากรูปที่ ๔๕ จะเห็นได้ว่า S-L-E มีปริมาณการดูดซึมความชื้นภายหลังจากโอบไอน้ำน้อยกว่า S-E เนื่องจาก S-L-E จะมีปริมาณปูนขาวซึ่ง S-E ไม่มี และปูนขาวนี้จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับทราย และระหว่างปูนขาวด้วยกัน ทำให้เกิด Bond Linkage เพิ่มขึ้นนอกเหนือไปจาก Bond Linkage ของยางมะตอยน้ำ ดังนั้นการปิดกั้น Flow Channel ของ S-L-E จึงเป็นไปได้มากกว่า Flow Channel ของ S-E ปริมาณการดูดซึมความชื้นของ S-L-E จึงเป็นไปได้ยากกว่า S-E

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซึมความชื้นภายหลังจากโอบไอน้ำของวัสดุผสมที่มีทรายและยางมะตอยน้ำ หรือ S-E กับวัสดุผสมที่มีทราย ปูนซีเมนต์ และยางมะตอยน้ำ หรือ S-C-E เปรียบเทียบที่ปริมาณความชื้นในการบดอัดเท่ากันและปริมาณยางมะตอยน้ำเท่ากัน จากรูปที่ ๔๘ จะเห็นได้ว่า S-C-E มีปริมาณการดูดซึมความชื้นภายหลังจากโอบไอน้ำน้อยกว่า S-E เนื่องจาก S-C-E มีปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับทราย และกับน้ำความชื้นทำให้เกิด Bond Linkage เพิ่มขึ้นนอกเหนือจาก Bond Linkage ที่เกิดจากยางมะตอยน้ำ และ Bond Linkage นี้ จะเพิ่มการปิดกั้น Flow Channel ในวัสดุตัวอย่างของ S-C-E ทำให้ปริมาณการดูดซึมความชื้นภายหลังจากโอบไอน้ำของ S-C-E เป็นไปได้ยากและน้อยกว่า



รูปที่ ๔๗. ผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อความหนาแน่น



รูปที่ 48. ปริมาณการบดที่สัมพันธ์กับความชื้นในการบด (AFTER M.V.S.)