

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของมวลรวม

ความถ่วงจำเพาะที่ทดลอง แบ่งเป็นสองชนิดคือความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตร ส่วนที่เป็นของแข็งรวมทั้งรูพรุนปิด (Close pore) ของมวลรวม และความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Specific Gravity) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรรวมของมวลรวม

ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวม มีประโยชน์ในการคำนวณหาปริมาตรของมวลรวม และช่องว่างระหว่างมวลรวม เพื่อคำนวณหาปริมาตรปูนทรายในผิวทางคอนกรีต หรือปริมาตรยางแอสฟัลท์ในผิวทางแอสฟัลท์ การดูดซึมน้ำมีประโยชน์ในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการผสมคอนกรีต

ผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมแสดงในตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองของมวลรวมแต่ละชนิดมีดังต่อไปนี้

4.1.1 เม็ดดินผสมทรายเผา จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 ได้แสดงกราฟเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของเม็ดดินผสมทรายเผา ดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.4

ก่อนจะวิเคราะห์ถึงผลการทดลอง ควรทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของดินเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งจะเปรียบเทียบจากดิน Kaolinite เนื่องจากดินเมื่อได้รับความร้อน จะมีคุณสมบัติคล้ายแร่ดินส่วนใหญ่ที่ประกอบอยู่ แปรเปลี่ยนไปบ้างตามผลหินที่ผสม (36)

ดิน Kaolinite เมื่อเผาถึง 450 °C จะเกิด dehydroxylation คือเสีย OH group ในโครงสร้าง กลายเป็น meta kaolinite ทำให้ความพรุนเพิ่มขึ้น

ที่จุดนี้ น้ำหนักลดอย่างรวดเร็ว เป็นปฏิกิริยาความร้อนคงที่ (Isothermal reaction) เมื่อเผาถึง  $600^{\circ}\text{C}$  จะหมดสภาพความยืดหยุ่น (Non plastic) และไม่รวมกับน้ำอีก เมื่อเปียก (37,38) เมื่อเผาถึง  $950^{\circ}\text{C}$  จะเปลี่ยนเป็น Mullite ซึ่งมีผลึกรูปเข็ม เมื่อเผาถึง  $1200^{\circ}\text{C}$  จะเกิดการหลอมตัว (Fuse) และหดตัวมาก

จากผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของเม็ดดินปทุมธานี และราชบุรีอบแห้ง และเผาที่ 600 800 1000  $^{\circ}\text{C}$  ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า ค่า ถพ.ปรากฏของดินทั้งสองค่อนข้างคงที่ ประมาณ 2.52 เมื่อเผาเกิน  $1000^{\circ}\text{C}$  จะเพิ่มขึ้น ส่วนการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเผาอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเกิน  $1000^{\circ}\text{C}$  จะลดลง ซึ่งอธิบายได้ว่า ในช่วงอุณหภูมิ  $110-600^{\circ}\text{C}$  เม็ดดินผสมทราย มีความพรุนเพิ่มเนื่องจากการสูญเสียไนโครงสร้าง หรือ OH Group ถพ.ปรากฏค่อนข้างคงที่เนื่องจากน้ำหนักลดพร้อมกับปริมาตรที่ใช้คำนวณลดลง เนื่องจากเสีย OH Group ถพ.รวมลด เนื่องจากน้ำหนักสูญเสียไปโดยที่ปริมาตรรวมเปลี่ยนแปลงน้อยมาก การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากความพรุนเพิ่มขึ้น

ในช่วงอุณหภูมิ  $800-1000^{\circ}\text{C}$  น้ำหนักคงลดต่อไป เนื่องจากสาร Carbonate สลายตัว และให้ความพรุนเพิ่มขึ้น ดินปทุมธานี ถพ.ปรากฏไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากปริมาตรดินที่ใช้คำนวณลดลงด้วย ถพ.รวมลดเนื่องจากน้ำหนักลดโดยที่ปริมาตรค่อนข้างคงที่ การดูดซึมน้ำเพิ่มเนื่องจากความพรุนเพิ่ม ดินราชบุรี ถพ.ปรากฏ ถพ.รวม และการดูดซึมน้ำค่อนข้างคงที่

เมื่อเผาถึง  $1200^{\circ}\text{C}$  ดินหลอมละลาย รูปพรุนจะปิดและหดตัวลง ถพ.ปรากฏจึงลดลง เนื่องจากปริมาตรดินซึ่งครั้งนีรวมรูปพรุนปิดด้วยเพิ่มขึ้น ถพ.รวมลดลงเนื่องจากปริมาตรลดลง การดูดซึมน้ำลดลงเนื่องจากรูปพรุนปิด น้ำซึมเข้าได้น้อยลง



4.1.2 หินปูนเผา ผลการทดลองแสดงความเปลี่ยนแปลงของความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของหินปูนสีดำ สีเทา สีขาว เมื่อเผาที่  $110-700^{\circ}\text{C}$  แสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 และผลการทดลองเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำแสดงโดยเส้นกราฟในรูปที่ 4.5-4.10 จะเห็นได้ว่า หินปูนทั้งสามมีค่าถพ.ปรากฏประมาณ 2.75, ถพ.รวมประมาณ 2.71 การดูดซึมน้ำประมาณ 2 % เมื่ออุณหภูมิที่ใช้เผาเริ่มสูงขึ้น ถพ.จะลดลงเล็กน้อย จนถึง  $300^{\circ}\text{C}$  ถพ.หลังเผาของหินปูนบางชนิดจะสูงขึ้น การดูดซึมน้ำเพิ่มเล็กน้อยในช่วงแรก แต่เมื่อเผาเกิน  $300^{\circ}\text{C}$  จะเพิ่มมากขึ้นอีก

อธิบายได้ว่า เมื่อเริ่มเผา จะสูญเสียไอน้ำและก๊าซ จะเกิดความพรุนขึ้น ถพ.ปรากฏและถพ.รวมลดลง เนื่องจากน้ำหนักลดลง สำหรับหินปูนสีดำและสีเทา เมื่อเผาที่อุณหภูมิ  $300-700^{\circ}\text{C}$  ทรูพรุนเพิ่มขึ้น น้ำซึมเข้ามากขึ้น ถพ.ปรากฏสูงขึ้นเนื่องจากน้ำซึมเข้ามากขึ้น ปริมาตรที่ไซค์คำนวณลดลง ถพ.รวมสูงขึ้นเล็กน้อยอาจเนื่องจากการหดตัวของหินปูน ทำให้ปริมาตรที่ไซค์คำนวณลดลง ถพ.จึงสูงขึ้น

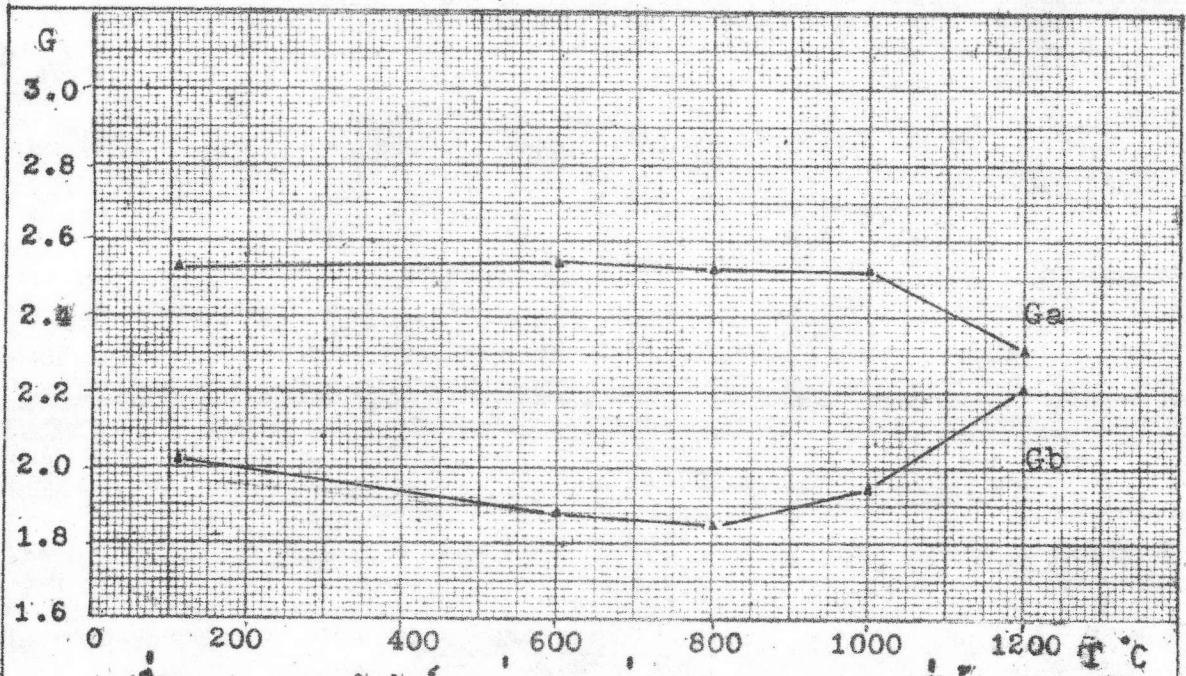
4.1.3 แก้ว จากผลการทดลอง แก้วมีค่าถพ.ปรากฏ 2.502 และถพ.รวม 2.496 การดูดซึมน้ำ 0.01 % ถพ.ปรากฏและถพ.รวมต่างกันน้อยมาก แทบไม่มีความพรุนเลย

4.1.4 ตะกรันเตาถลุง จากผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของตะกรันเตาถลุงแบบพรุนมาก พรุนแน่น และแน่น ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า ถ้าความพรุนสูงขึ้น ค่าถพ.จะลดลง การดูดซึมน้ำค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเม็คดินเผา เนื่องจากรูพรุนในตะกรันเตาถลุงเป็นแบบรูพรุนปิด (close pore) เป็นส่วนใหญ่

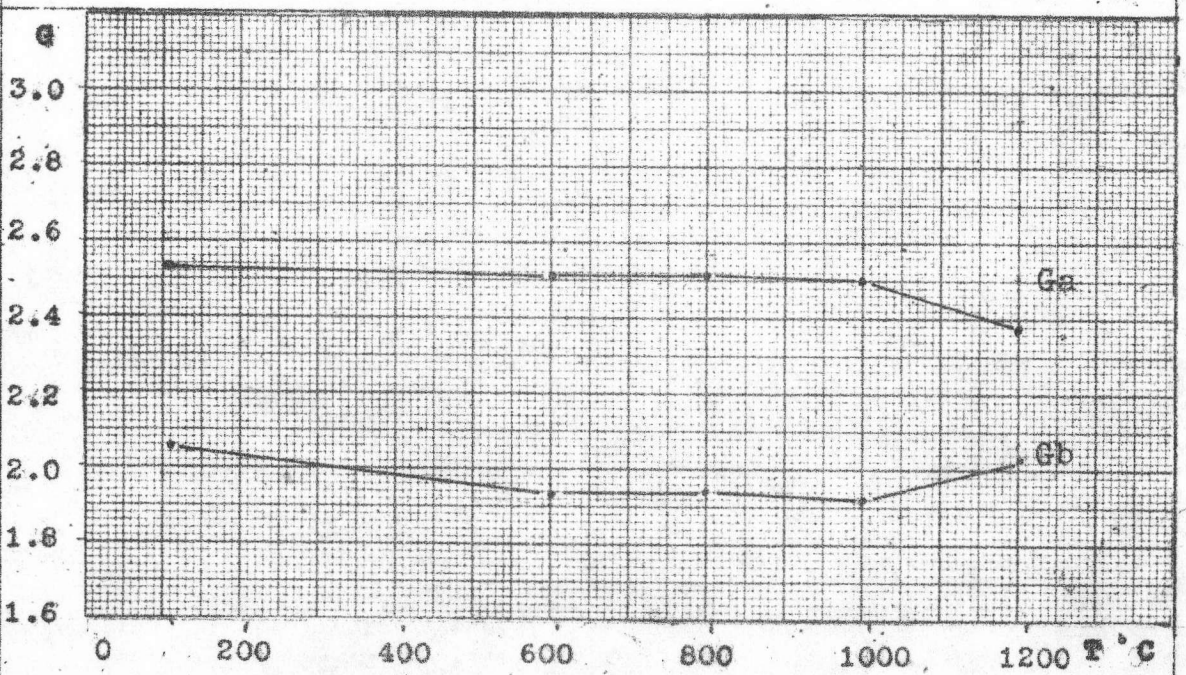
4.1.5 ตะกรันเตาหลอม จากผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะและการ  
ดูดซึมน้ำของตะกรันเตาหลอมแบบพรุนมาก และแบบพรุนน้อย ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1  
จะเห็นว่าตะกรันเตาหลอมมีถพ. สูงกว่าตะกรันเตาสูงแม่จะมีความพรุนคล้ายกัน อาจ  
เนื่องจากตะกรันเตาหลอมประกอบด้วยโลหะที่หนักกว่าเป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวม			
ตัวอย่าง	Ga	Gb	Wa(%)
<u>เม็คดินผสมทรายเผา</u>			
ดินปทุมธานี อบแห้ง	2.531	2.024	9.91
" เเผา 600 °C	2.553	1.889	13.64
" " 800 °C	2.527	1.840	14.64
" " 1000 °C	2.525	1.937	11.94
" " 1200 °C	2.316	2.210	2.05
<u>ดินราชบุรี</u>			
ดินราชบุรี อบแห้ง	2.531	2.067	8.85
" เเผา 600 °C	2.508	1.927	11.93
" " 800 °C	2.515	1.935	11.83
" " 1000 °C	2.505	1.917	11.92
" " 1200 °C	2.389	2.058	7.30
<u>หินปูนเผา</u>			
หินปูนสีค่า ปกติ	2.730	2.707	0.29
" เเผา 176 °C	2.637	2.609	0.40
" " 300 °C	2.683	2.651	0.50
" " 500 °C	2.730	2.685	0.78
" " 700 °C	2.790	2.710	1.06

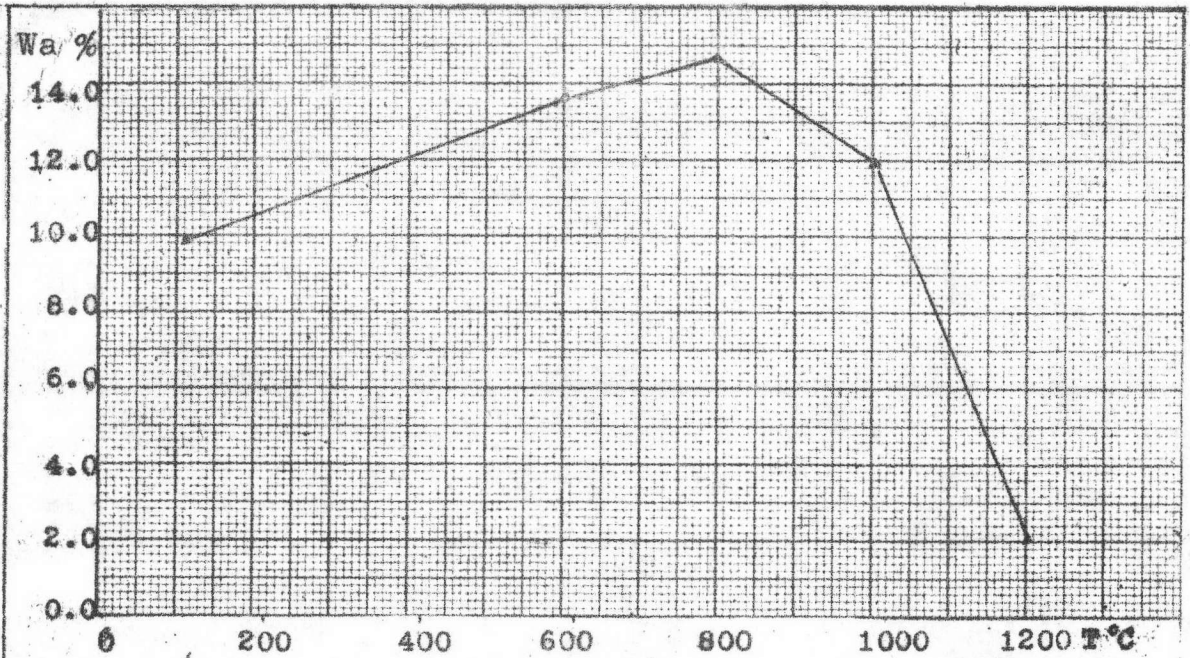
ตารางที่ 4.1 (ต่อ)			
ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวม			
ตัวอย่าง	Ga	Gb	Wa(%)
หินปูนสีเทา ปกติ	2.728	2.712	0.22
" เผา 176°C	2.683	2.657	0.37
" " 300°C	2.684	2.662	0.40
" " 500°C	2.732	2.670	0.75
" " 700°C	2.780	2.690	1.18
หินปูนสีขาว ปกติ	2.728	2.698	0.27
" เผา 176°C	2.672	2.644	0.37
" " 300°C	2.688	2.660	0.40
<u>แกลว</u>	2.502	2.496	0.09
<u>ตะกรันเตาถลุง</u>			
เหล็กสยาม พูนมาก	2.293	2.130	3.33
" พูนปาน	2.542	2.447	1.50
" แนน	2.606	2.571	0.52
<u>ตะกรันเตาหลอม</u>			
จี เอส ซีดี พูนมาก	3.454	3.307	1.29
" พูนน้อย	3.642	3.529	0.87



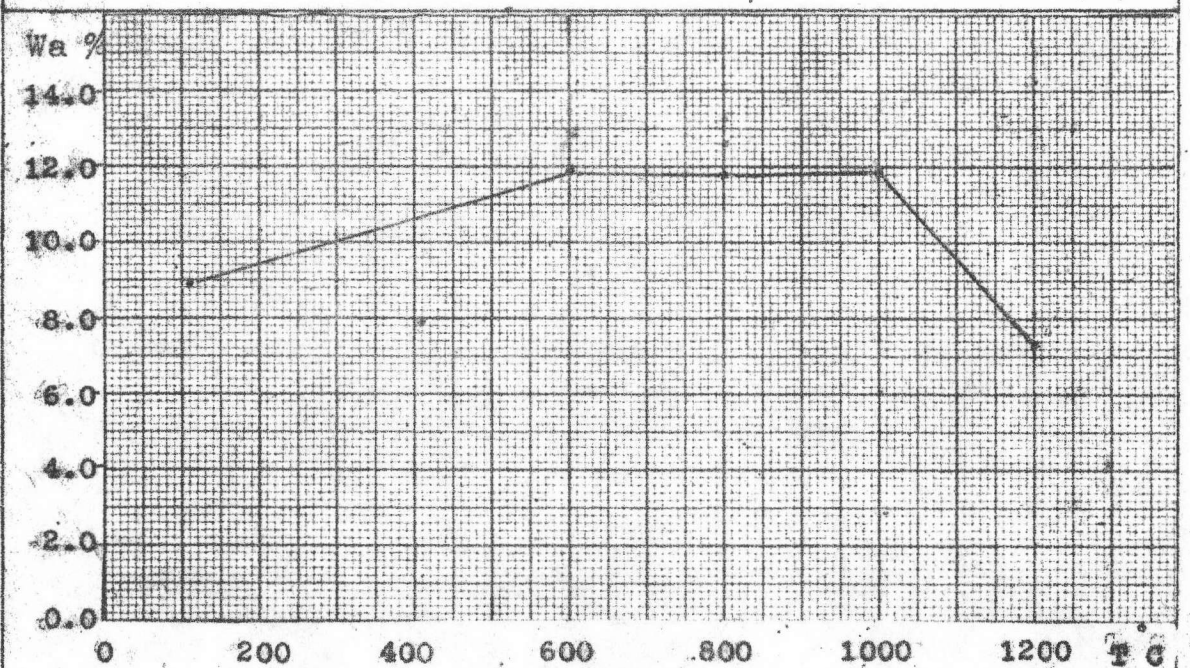
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดวงจำเพาะและอุณหภูมิที่ใช้เผาของเม็คนิกินผสมซัลไฟ



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดวงจำเพาะและอุณหภูมิที่ใช้เผาของเม็คนิกินผสมซัลไฟ

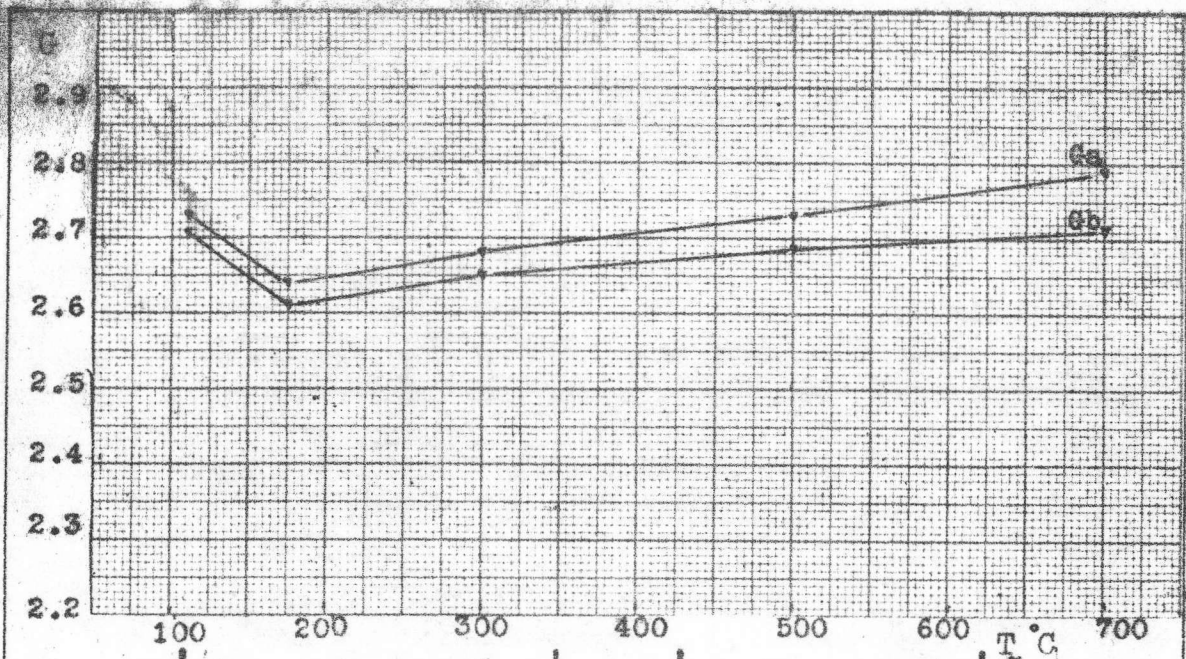


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำและอุณหภูมิที่ไรต์เตอร์ของเม็กลินเปทุม  
ชานีผสมทราย

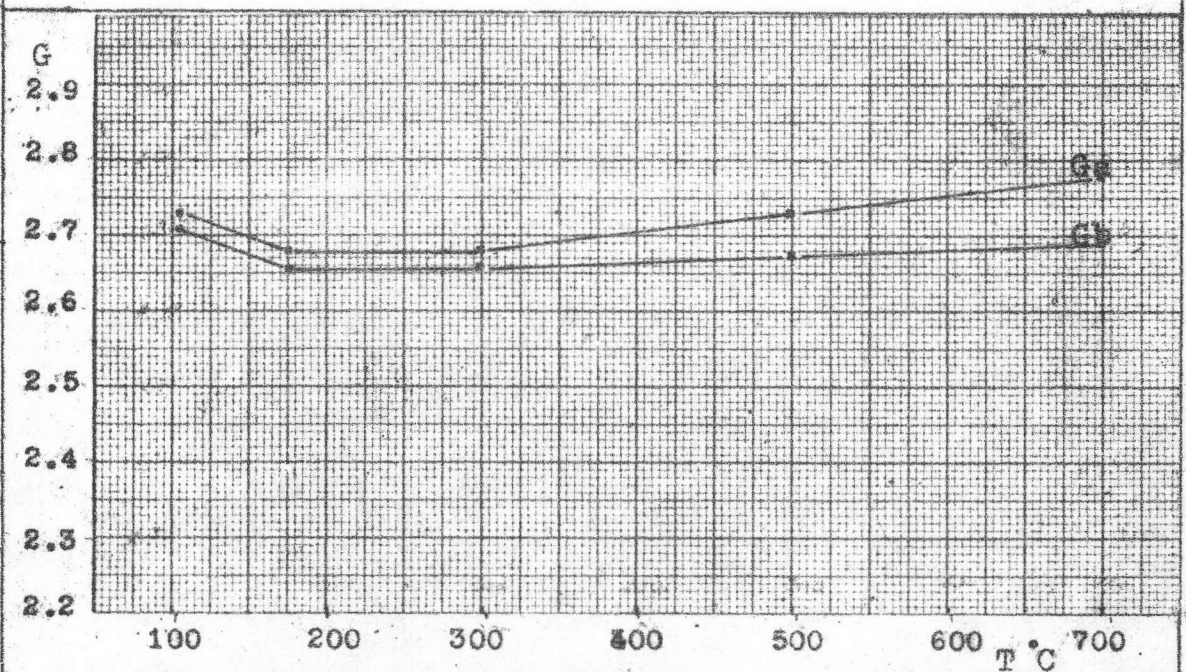


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำและอุณหภูมิที่ไรต์เตอร์ของเม็กลินราชบุรี  
ผสมทราย

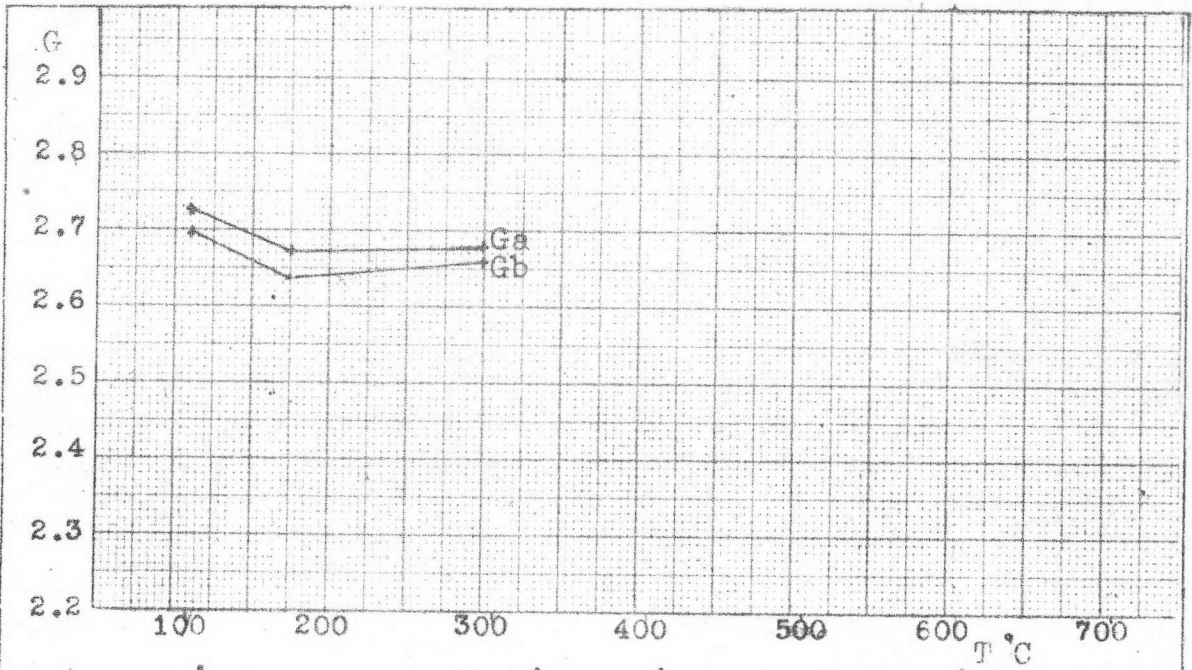




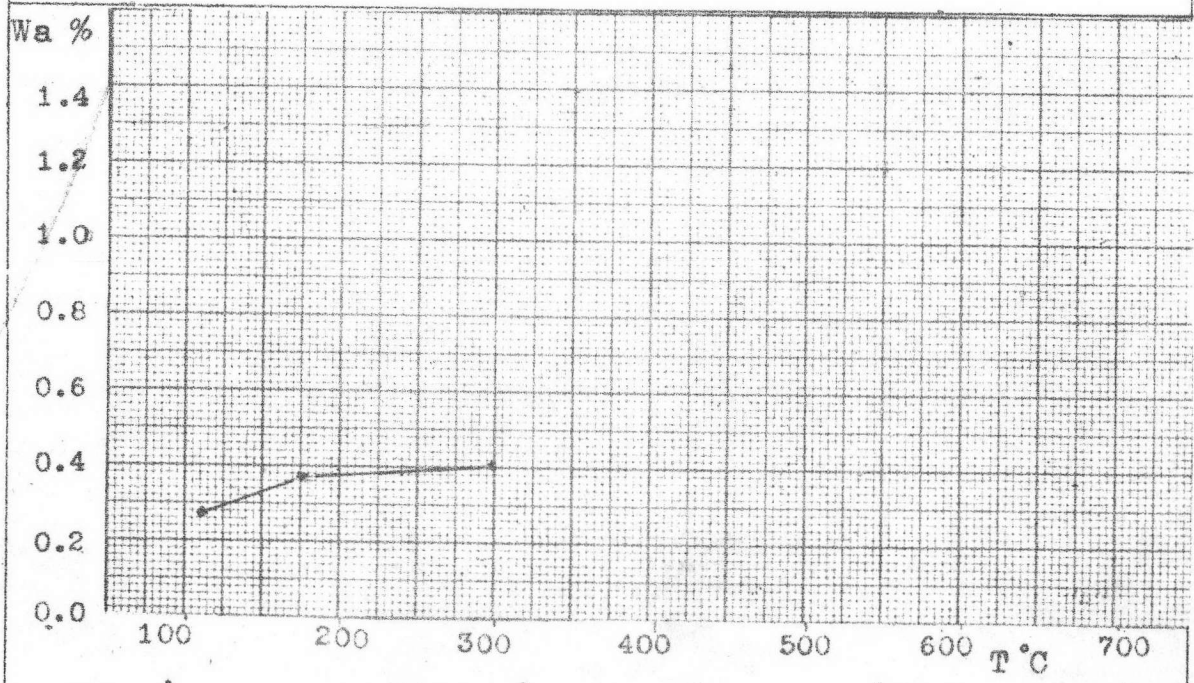
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความดวงจำเพาะและอุณหภูมิที่ไร้น้ำของหินปูนสีค่า



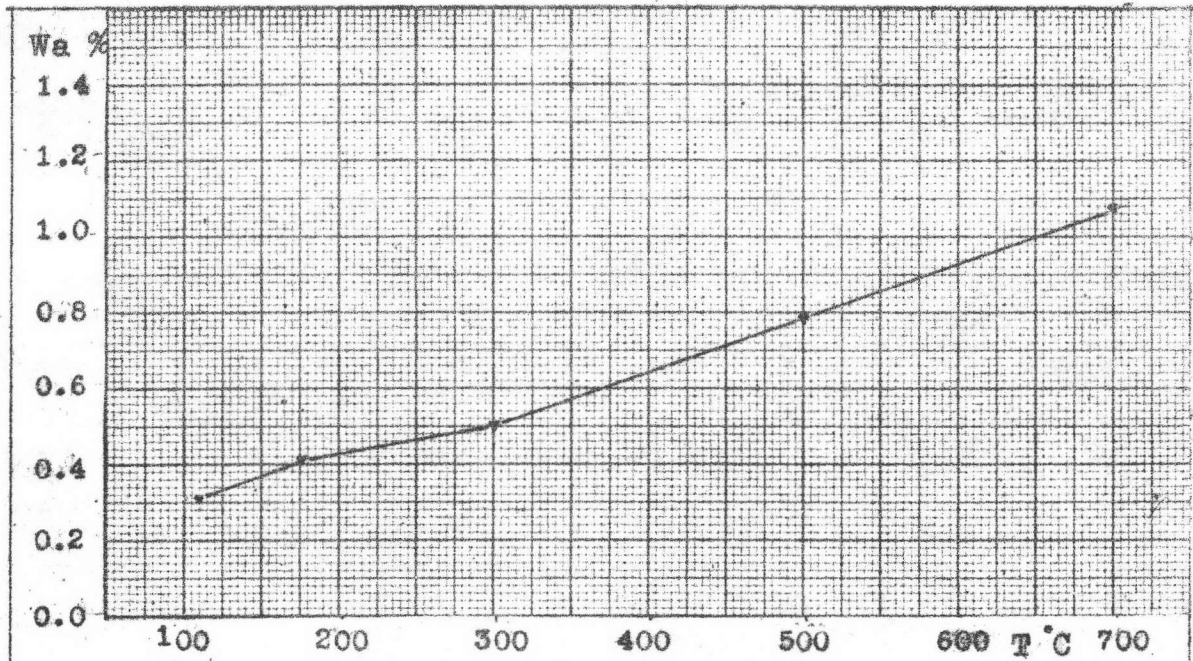
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดวงจำเพาะและอุณหภูมิที่ไร้น้ำของหินปูนสีเทา



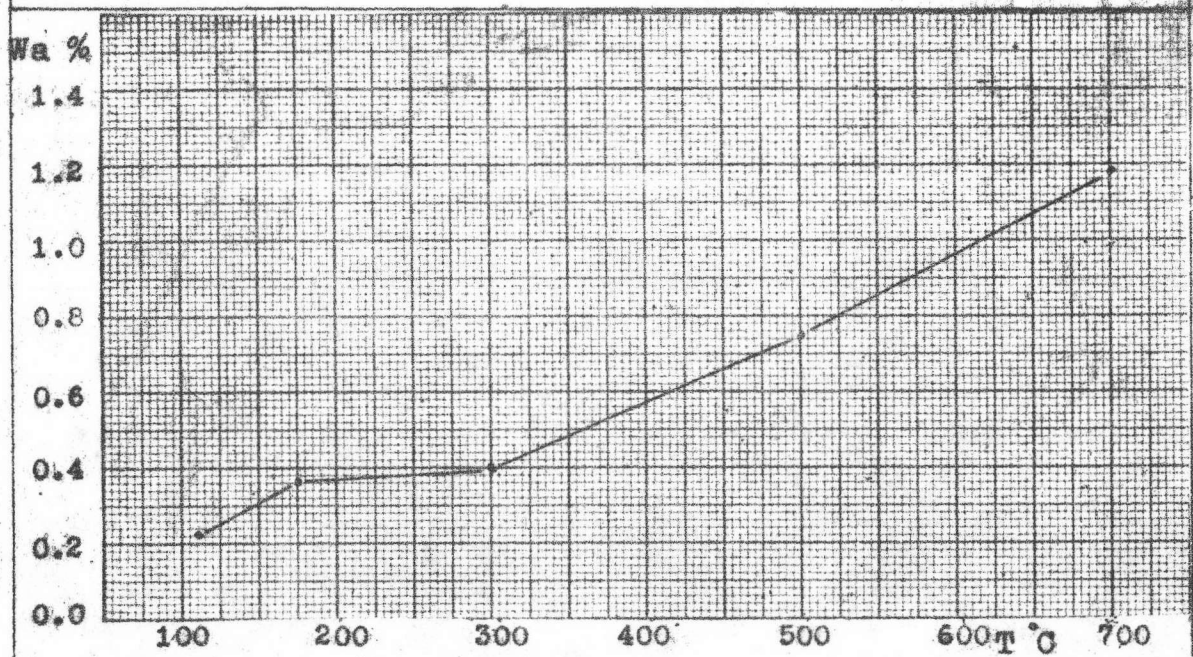
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดวงจำเพาะและอุณหภูมิที่ไรเฆาของหินปูนสีขาว



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับน้ำและอุณหภูมิที่ไรเฆาของหินปูนสีขาว



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำและอุณหภูมิที่โซเดียมของหินปูนสีฟ้า



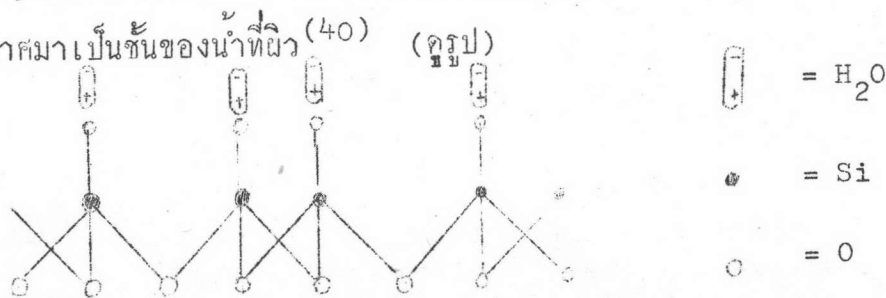
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำและอุณหภูมิที่โซเดียมของหินปูนสีเทา

#### 4.3 ผลการทดลองหาการหลุดลอกของมวลรวมจากยางแอสฟัลต์

จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อศึกษาการหลุดลอกของมวลรวมจากผิวทางเพื่อเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้จริงในผิวทางแอสฟัลต์ ซึ่งอยู่ในสภาพถูกแตกและผนในขณะใช้งาน ค่าการหลุดลอกนี้ กรมทางหลวง<sup>(4)</sup> กำหนดให้ไม่เกิน 20 %

การหลุดลอกของมวลรวมมีสาเหตุหนึ่งเกิดจากน้ำเข้าแทรกระหว่างผิวสัมผัสของยางแอสฟัลต์และมวลรวม ปัจจัยที่เกี่ยวข้องของอาจเนื่องจากยางแอสฟัลต์ น้ำ อุณหภูมิ คุณสมบัติของมวลรวม ฯลฯ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของมวลรวม ซึ่งได้แก่ ส่วนประกอบของแร่ธาตุ ลักษณะผิว และสิ่งสกปรกที่คลุมผิวมวลรวม

ส่วนประกอบของแร่ธาตุ มวลรวมที่ประกอบด้วย Quartz มักมีการหลุดลอกสูง Quartz เป็น Oxide ของ Silicon ในหนึ่งโมเลกุลประกอบด้วย Si ซึ่งมีวาเลนซ์ +4 เกาะกับอีก 4 อะตอมของ O เป็นรูป tetrahedron แต่ O ซึ่งมีวาเลนซ์ -2 ดังนั้นจึงมีวาเลนซ์ว่างอยู่ -1 ซึ่งจะสมมูลโดยการเกาะกับ O ข้างเคียงเป็นรูป 3 มิติต่อกันไป<sup>(39)</sup> ส่วนที่ผิว O ไม่อาจเกาะกับโมเลกุลข้างเคียง จึงถูกน้ำในอากาศมาเป็นชั้นของน้ำที่ผิว<sup>(40)</sup> (ดูรูป)



การที่น้ำมาเกาะ เนื่องจากน้ำเป็นสาร Di polar คือมีประจุบวกและลบไม่ตรงกัน แต่ละปลายของโมเลกุลแสดงประจุต่างกัน มันสามารถหันปลายบวกและลบไปเกาะกับประจุตรงข้าม<sup>(41)</sup> ดังนั้นมวลรวมที่ประกอบด้วย  $SiO_2$  ปริมาณมาก จะทำให้หลุดลอกจากยางแอสฟัลต์ได้ง่ายเนื่องจากมีน้ำแทรกอยู่ หรือมีโอกาสที่น้ำเข้าแทรกได้ง่ายกว่ามวลรวมจำพวกหินปูน ซึ่งเกือบเป็น Non polar ซึ่งเป็นการยากกว่าพวก Quartz ในการที่น้ำจะเกาะแทรกระหว่างผิวมวลรวมและแอสฟัลต์

ลักษณะผิว มีผลต่อการยึดเกาะของมวลรวม มวลรวมที่ผิวหยาบอาจทำให้การยึดเกาะไม่ดี เนื่องจากมีอากาศแทรกระหว่างผิวทั้งสอง หรือมีน้ำสะสมตามร่องเล็กๆที่ผิวของมวลรวม<sup>(42)</sup> ความหยาบของผิวมวลรวมอาจเป็นประโยชน์ต่อการยึดเกาะ คือ ความหยาบจะเพิ่มพื้นที่ผิวที่ยึดเกาะมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ลดความเครียดระหว่างผิวทั้งสองเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ<sup>(43)</sup>

สำหรับรูพรุนเปิดและร่องตามผิวมวลรวม จะช่วยให้ยางซึมเข้าไปในรูพรุนและเกิดการยึดกันระหว่างมวลรวมและยางแอสฟัลต์<sup>(44)</sup> ถ้าผสมมวลรวมและยางแอสฟัลต์ขณะที่ผิวให้ร้อน อากาศจะหดตัวเมื่ออุณหภูมิเย็นลง จะดูยางแอสฟัลต์เข้าไปในรูพรุนของมวลรวม ทำให้การยึดเกาะดีขึ้น เช่นเดียวกัน ถ้าผสมมวลรวมและยางแอสฟัลต์ในสภาพที่เย็น อากาศในรูพรุนจะขยายตัวดันยางที่เกาะให้หลุดลอกเมื่อร้อนได้<sup>(42)</sup>

สิ่งปกคลุมมวลรวม หากมีฝุ่นหรือสิ่งสกปรกคลุมอยู่ที่ผิวมวลรวม จะทำให้การเกาะของมวลรวมกับยางแอสฟัลต์ไม่สมบูรณ์ และอาจมีอากาศซึมเข้าแทรกระหว่างผิวมวลรวมและยาง<sup>(42)</sup>

ผลการทดลองหาการหลุดลอกของมวลรวมจากยางแอสฟัลต์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองมีดังนี้

4.3.1 เม็คดินผสมทรายเผา การหลุดลอกของเม็คดินผสมทรายเผาที่ 1000°C ของดินปทุมธานีและดินราชบุรีมีค่า 68 และ 72 % ซึ่งค่อนข้างสูง อาจเนื่องจากเม็คดินผสมทรายเผาที่มีรูพรุนแบบเปิด ซึ่งน้ำอาจเข้าสู่จุดสัมผัสได้ง่าย ส่วนค่าที่แตกต่างกันของดินจากสองแหล่งอาจเนื่องจากดินมีปริมาณ  $SiO_2$  ต่างกัน คือ 58.49 และ 72.30 % ตามลำดับ ดินราชบุรีมีการหลุดลอกสูงกว่า อาจเนื่องจากมีปริมาณ  $SiO_2$  มากกว่า และอีกสาเหตุหนึ่งคาดว่าเกิดจากดินราชบุรีมีค่า AAV สูงกว่า ซึ่งทำให้เกิดการหลุดลอกสูงเนื่องจากมีผงฝุ่นของดินซึ่งเกิดจากการขุดสีเกาะอยู่ที่ผิวมวลรวม แต่อย่างไรก็ตาม เม็คดินผสมทรายเผาจากทั้งสองแหล่งก็ให้ค่าการหลุดลอกสูงมาก

4.3.2 หินปูนเผา เปอร์เซ็นต์การหลุดลอกของหินปูนสีค่า สีเทา สีขาวเผาที่ 300°C มีค่า 31.0 28.0 21.5 % ตามลำดับ การที่หินปูนมีการหลุดลอกต่ำ

เมื่อเทียบกับมวลรวมอื่น อาจเนื่องมาจากเป็นสารพวก Non polar สำหรับหินปูนสีขาว มีการหลุดลอกน้อยกว่า อาจเนื่องมาจากมีผิวที่หยาบกว่า

4.3.3 แก้ว มีการหลุดลอก 92.0 % ซึ่งนับว่าสูงมาก อาจเนื่องจากแก้ว ประกอบด้วย  $SiO_2$  คอนข้างสูง คือ 72.5 % อีกประการ แก้วมีเนื้อเรียบและฉีกทำให้ ยางแอสฟัลท์เกาะไต่ยาก

4.3.4 ตะกรันเตาดสูงและตะกรันเตาหลอม ตะกรันเตาดสูงแบบพูนมาก พูนแน่น แน่น และตะกรันเตาหลอมแบบพูนมาก พูนน้อย มีการหลุดลอกของมวลรวม 45.2 38.0 15.0 43.0 32.5 % ตามลำดับ การหลุดลอกคอนข้างต่ำ อาจเนื่อง จากมี  $SiO_2$  อยู่ประมาณต่ำ การที่ตะกรันแบบพูนมากมีการหลุดลอกสูงกว่าแบบพูนน้อย อาจเนื่องมาจากแบบพูนเล็กกว่า ยางแอสฟัลท์สามารถเข้าไปในรูพูนมากกว่าเนื่องจาก Capillary force ของรูพูนขนาดเล็กมีมากกว่า

การทดลองนี้ได้ผลคล้ายกับผลการทดลองของ Tyler<sup>(45)</sup> ซึ่งพบว่า ตะกรัน แบบเนื้อแน่นมีความต้านทานการหลุดลอกดีกว่าแบบพูน

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การหลุดลอกของมวลรวมจากยางแอสฟัลท์มีค่า คอนข้างสูง แต่ผลการทดลองนี้ไม่ถือเป็นเครื่องตัดสินในการเลือกมวลรวม เนื่องจาก สามารถปรับปรุงให้ค่าการหลุดลอกลดลงได้โดยการเติมสารผสมเพิ่ม (Additive) ในยางแอสฟัลท์เพื่อให้การยึดเกาะดีขึ้น หรือใช้วิธีการผสมยางแอสฟัลท์แบบ Hot mix ซึ่งการเผาหินทำให้น้ำที่เกาะกับมวลรวมระเหยไป และยางแอสฟัลท์เมื่อถูกความร้อน แรงดึงผิวจะลดลง ทำให้จับกับมวลรวมดีขึ้น หรือผสมน้ำมันที่ความหนืดต่ำกว่ามวลรวมก่อน ที่จะนำไปใช้กับยางแอสฟัลท์ที่มีความหนืดสูง

ตารางที่ 4.2		
ผลการทดลองการหลุดลอกของมวลรวมจากยางแอสฟัลท์		
ตัวอย่าง		% การหลุดลอก
<u>เม็คคินผสมทรายเผา</u>		
กินปทุมธานี	เผา 1000 °C	68.5
กินราชบุรี	เผา 1000 °C	77.0
<u>หินปูนเผา</u>		
หินปูนสีคำ	เผา 300 °C	31.0
" สีเทา	" 300 °C	28.0
" สีขาว	" 300 °C	21.5
<u>แกว</u>		94.0
<u>ตะกรันเตาถลุง</u>		
เหล็กสยาม	พูนมาก	45.2
"	พูนแน่น	38.0
"	แน่น	15.0
<u>ตะกรันเตาหลอม</u>		
จี เอส ซีล	พูนมาก	43.0
"	พูนน้อย	32.5



#### 4.3 ผลการทดลองหาค่าความลึกหรือของมวลรวม

การทดลองนี้เพื่อศึกษาว่ามวลรวมสามารถทนต่อการกระแทกและการสึกกร่อนจากขยควยานเมื่อนำไปใช้ในผิวทางโคดีดีเพียงไร ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง<sup>(3)</sup> กำหนดไว้ว่า มวลรวมที่จะนำมาใช้ต้องมีค่าความลึกหรือ AAV ไม่เกิน 40 %

ผลการทดลองหาค่าความลึกหรือของมวลรวมแสดงอยู่ในตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

4.3.1 เม็คคินผสมทรายเผา จากตารางผลการทดลองแสดงค่าความลึกหรือของเม็คคินผสมทรายเผาในตารางที่ 4.3 และเส้นกราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า AAV กับอุณหภูมิที่ใช้เผาของเม็คคินปทุมธานีและราชบุรีผสมทราย แสดงอยู่ในรูปที่ 4.11 - 4.12 จะเห็นว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้เผาสูงขึ้น ค่า AAV จะลดลง แสดงว่าเม็คคินมีความแกร่งมากขึ้น เม็คคินปทุมธานี เเผาที่ 600 °C มีค่า AAV สูงเกินกว่าที่จะนำมาใช้ เมื่อเผาตั้งแต่ 800 °C ขึ้นไป ค่า AAV ต่ำกว่า 40 % ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ ส่วนเม็คคินราชบุรีปรากฏว่าล้วนมีค่า AAV เกิน 40 % ถือว่าใช้ไม่ได้

จะเห็นว่าค่า AAV ขึ้นอยู่กับชนิดของดินซึ่งมีส่วนประกอบต่างกัน เมื่อพิจารณาถึงส่วนประกอบของ Alkali และ  $Fe_2O_3$  ซึ่งเป็น Flux ซึ่งช่วยให้ดินหลอมตัวที่อุณหภูมิค่า<sup>(36)</sup> จะเห็นว่าดินราชบุรีมี Alkali และ  $Fe_2O_3$  น้อยกว่าดินปทุมธานี ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ดินราชบุรีมีค่า AAV สูงกว่าดินปทุมธานี

เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Hosking<sup>(22)</sup> ได้ผลคล้ายกันคือ เมื่อเผาอุณหภูมิสูงขึ้นค่า AAV ของมวลรวมจะลดลง

4.3.2 หินปูนเผา จากตารางผลการทดลองแสดงค่าความลึกหรือของหินปูนเผาในตารางที่ 4.3 และเส้นกราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า AAV กับอุณหภูมิที่ใช้เผาของหินปูนสีค่า สีเทา และสีขาว ในรูปที่ 4.13-4.15 จะเห็นว่า ค่า AAV เพิ่มเมื่อเผาอุณหภูมิสูงขึ้น หินปูนสีค่าและสีเทาละลายเมื่อเผาเกิน 700 °C หินปูนสีขาวละลายเมื่อเผาเกิน 300 °C การที่หินปูนสีขาวละลายก่อนอาจเนื่องจากการยึดกันของผลึกต่างกัน



4.3.3 แก้ว ให้ค่า AAV = 42.6 % สูงเกินกว่าที่กำหนดในมาตรฐาน ถือว่า  
ใช้ไม่ได้

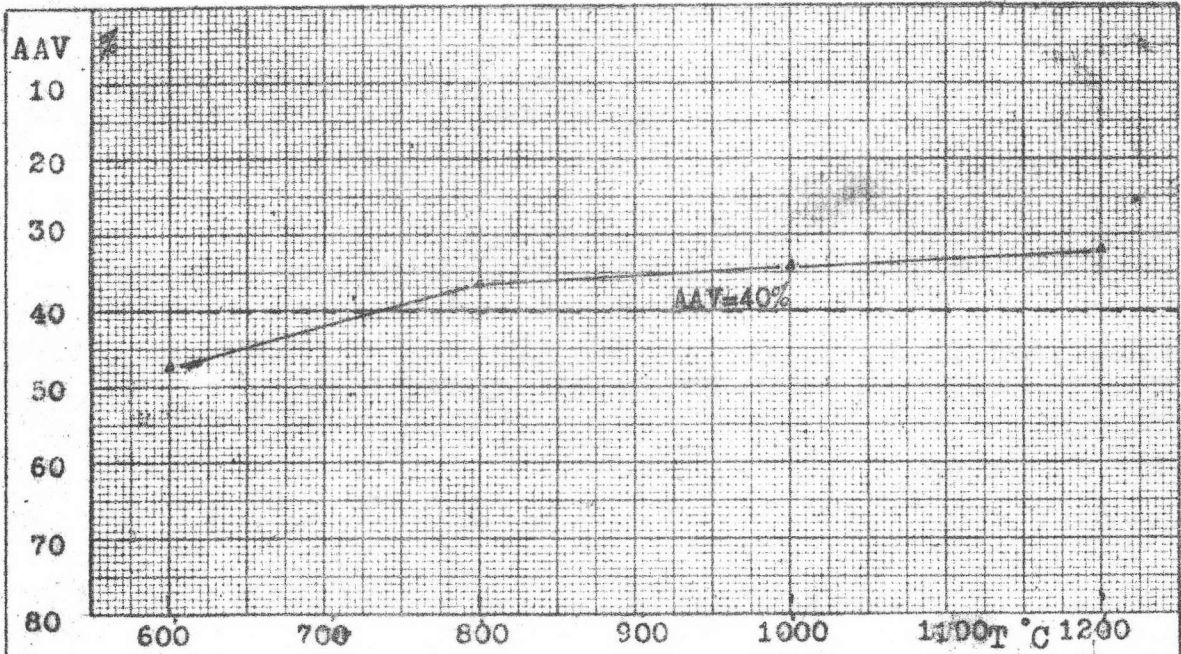
4.3.4 ตะกรันเตาดสูง ตะกรันเตาดสูงแบบพูนมาก พูนแน่นและแน่นให้  
ค่า AAV = 42.4 34.8 42.0 % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ตะกรันเตาดสูงแบบพูน  
มากและแบบแน่นให้ค่า AAV สูงกว่าแบบแน่น ถ้าพิจารณาจากสีของเนื้อวัสดุ จะเห็นว่า  
แต่ละแบบมีสีแตกต่างกัน ชนิดพูนมากมีเนื้อบางส่วนสีขาว ชนิดพูนแน่นเป็นสีดำ ชนิด  
แน่นมีลักษณะเป็นเกล็ดคล้ายแก้ว ตะกรันชนิดพูนมากมีค่า AAV สูง เข้าใจว่าเนื่องจาก  
เนื้อพูนมีพื้นที่รับแรงน้อย เกิด Stress ในเนื้อสูงเมื่อรับแรงกระแทก ชนิดพูนแน่น  
มีค่า AAV สูง เข้าใจว่าเนื่องจากในเนื้อมีการย่นแตกกร้าวเป็นเกล็ด ซึ่งอาจเกิดรอยร้าว  
ตัวและหักตัวไม่สม่ำเสมอ ชนิดพูนแน่น เข้าใจว่ามีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกันด้วย  
จึงทำให้ค่า AAV ต่างกัน มีตะกรันเตาดสูงแบบพูนแน่นเท่านั้นที่ค่า AAV ไม่เกิน 40 %

4.3.5 ตะกรันเตาหลอม ตะกรันเตาหลอมแบบพูนมากและพูนน้อยให้ค่า  
AAV = 28.0 และ 24.2 % ตามลำดับ ตะกรันเตาหลอมมีส่วนประกอบที่เป็นเหล็กมาก  
ทนต่อการกระแทกได้ดี พวกที่มีความพูนมากกว่าจะให้ค่า AAV สูงกว่า ค่า AAV อยู่ใน  
เกณฑ์ใช้ได้ทั้งคู่

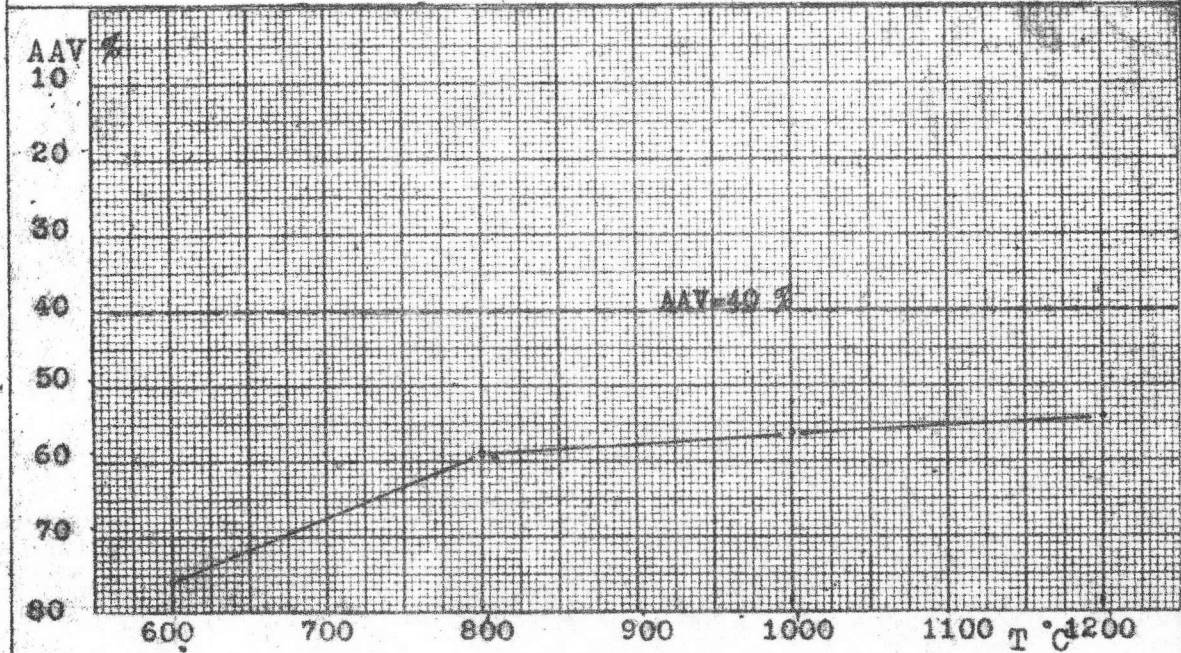
ตารางที่ 4.3  
ผลการทดลองหาความลึกหรือของมวลรวม

ตัวอย่าง	เกรด	AAV (%)
<u>เม็ดดินผสมทรายเฒา</u>		
ดินปทุมธานี เฒา 600 °C	B	47.4
" " 800 °C	B	36.4
" " 1000 °C	B	34.6
" " 1200 °C	B	32.0
ดินราชบุรี เฒา 600 °C	B	75.9
" " 800 °C	B	59.2
" " 1000 °C	B	56.2
" " 1200 °C	B	54.5
<u>หินปูนเฒา</u>		
หินปูนสีคำ ปกติ	B	28.8
" เฒา 176 °C	B	27.4
" " 300 °C	B	29.4
" " 500 °C	B	34.2
" " 700 °C	B	35.0
หินปูนสีเทา ปกติ	B	28.0
" เฒา 176 °C	B	25.2
" " 300 °C	B	27.6
" " 500 °C	B	32.0
" " 700 °C	B	36.4

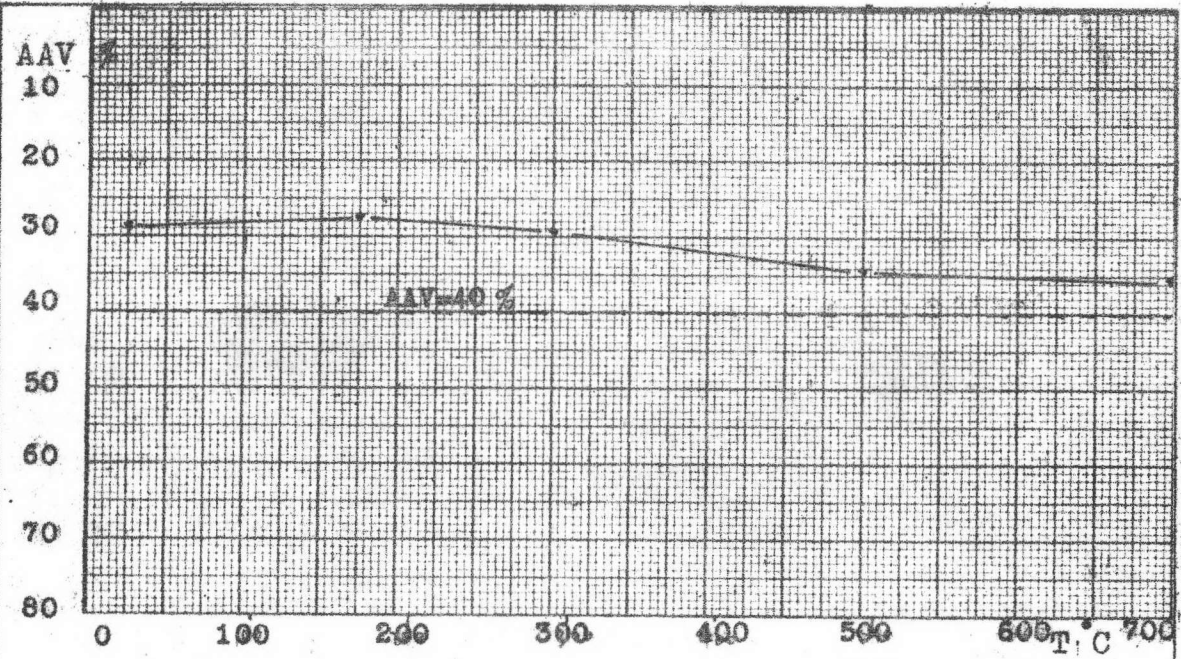
ตารางที่ 4.3 (ต่อ)		
ผลการทดลองหาความลึกหรือของมวลรวม		
ตัวอย่าง	เกรด	AAV(%)
หินปูนสีขาว ปกติ	B	40.8
" เเผ 176°C	B	42.4
" " 300°C	B	63.0
<u>แกว</u>	B	42.6
<u>ตะกรันเตาถลุง</u>	B	
เหล็กสยาม พรุนมาก	A	42.4
" พรุนแน่น	A	34.8
" แน่น	A	42.0
<u>ตะกรันเตาหลอม</u>		
จี เอส สตีล พรุนมาก	A	28.0
" พรุนน้อย	A	24.2



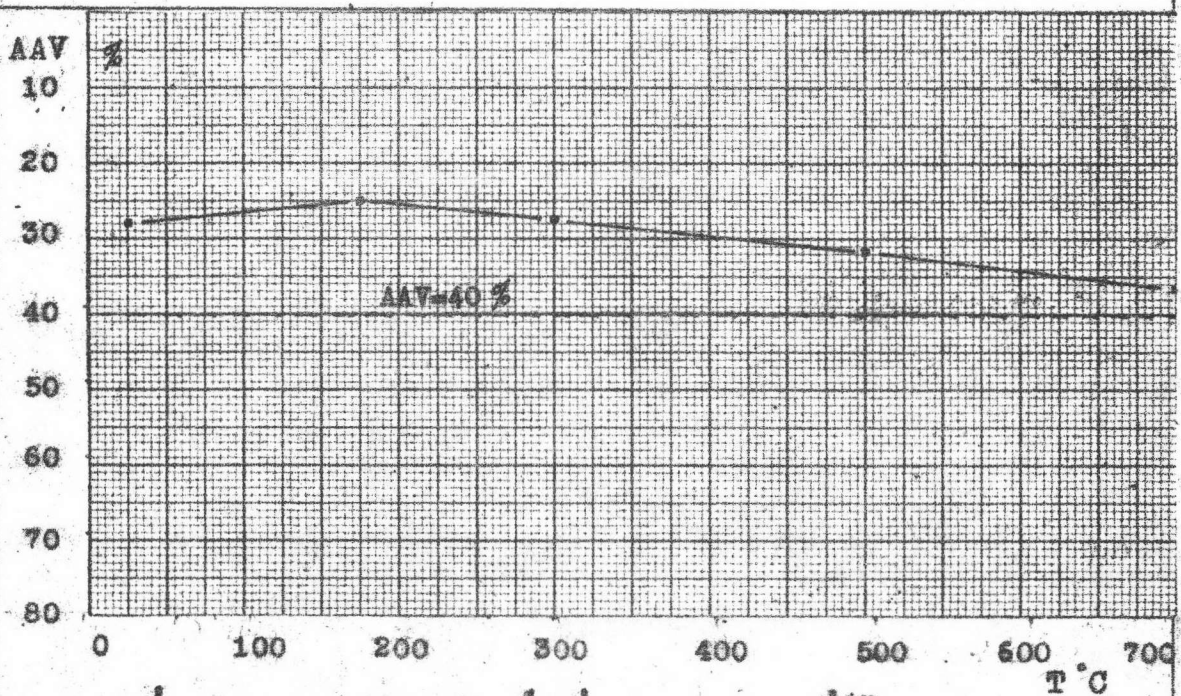
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า AAV และอุณหภูมิที่ใช้เผาของเม็ทคินพุ่มราบี  
ผสมทราย



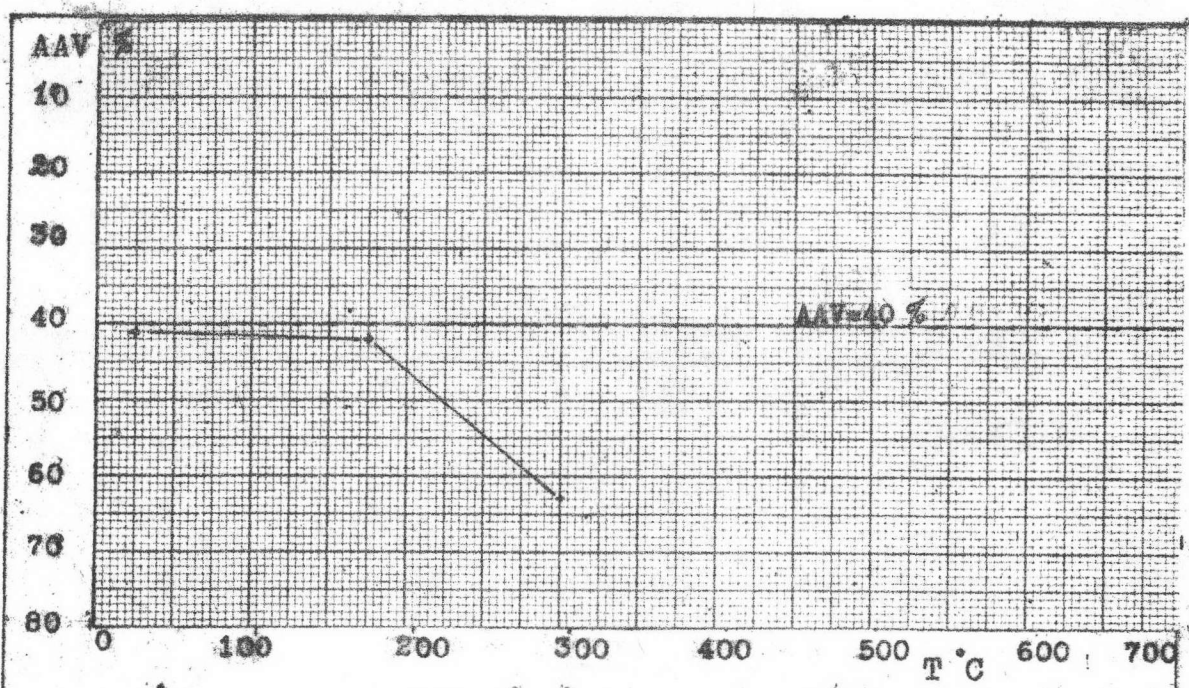
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า AAV และอุณหภูมิที่ใช้เผาของเม็ทคินพุ่มราบูรี  
ผสมทราย



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า AAV และอุณหภูมิที่ไรโซนาของดินปนสีเทา



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า AAV และอุณหภูมิที่ไรโซนาของดินปนสีเทา



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า AAV และอุณหภูมิที่ไรบารของหินปูนสีขาว

#### 4.4 ผลการทดลองหาค่า

การทดลองหาค่า PSV นี้ ได้ทดลองเฉพาะกับผิววัสดุในสภาพเปียก เนื่องจากค่าความต้านทานการลื่นไถลเมื่อเปียกต่ำกว่าเมื่อแห้งมาก และค่าที่วัดเมื่อเปียกและแห้งไม่สัมพันธ์กัน นอกจากนั้นค่า PSV เมื่อเปียกเป็นค่าวิกฤต และใช้ในการพิจารณาความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง (46)

เกณฑ์ตัดสินของค่า PSV นั้น กรมทางหลวงยังไม่ได้กำหนดเป็นมาตรฐาน ในที่นี้ถือตามคำแนะนำของ Bunnag, et al. (1) ซึ่งแนะนำว่า ถนนตามจุดอันตรายควรมีค่า PSV ของมวลรวมตั้งแต่ 50 ขึ้นไป ค่า PSV ถ้อยคำหลังขีดเป็นเกณฑ์ตัดสิน เนื่องจากได้ค่าที่ต่ำกว่า

ผลการทดลองหาค่า PSV ของมวลรวม แสดงอยู่ในตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

4.4.1 เม็คคินผสมทรายเฒ่า ผลการทดลองแสดงโดยเส้นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ไซเฒ่า กับค่า PSV ของเม็คคินปทุมธานีและราชบุรีผสมทราย แสดงในรูปที่ 4.16-4.17

การจัดเรียงเม็คคินเมื่อทดลองโดยทั่วไปจัดเรียงแบบขวางแฉ่น จากผลการทดลองเปรียบเทียบค่า PSV วัดจากแฉ่นเรียงตามขวาง ตามยาว และคละ จะเห็นว่าการเรียงแบบขวางให้ค่า PSV สูงกว่า เนื่องจากการเรียงขวางจะให้การสัมผัสตลอดหน้าของแฉ่นยาง การเรียงตามยาวจะมีร่อง ทำให้ยางสัมผัสเม็คคินไม่เต็มหน้า เหตุผลอีกประการคือ การเรียงขวางทำให้เกิดการยุบตัวของยางซึ่งเกิดจากการกระแทกเมื่อแฉ่นผ่านไปมากกว่า ทำให้เกิด Hysteresis loss สูงกว่า

สำหรับตัวอย่างเรียงขวางของเม็คคินปทุมธานี ให้ค่า PSV ก่อนขีดที่อุณหภูมิเฒ่า 600 800 1000 1200 °C เท่ากับ 69-66 หลังขีดเท่ากับ 68-51 เม็คคินราชบุรีให้ค่า PSV ก่อนขีดเท่ากับ 72-67 หลังขีดเท่ากับ 63-58 จะเห็นวาค่า PSV ก่อนขีดสูงกว่าหลังขีดในตัวอย่างทั้งสองชนิดเนื่องจากความหยาบของผิวที่มีเม็คคินทรายผุดขึ้นก่อนขีดมีมาก

มากกว่าหลังจากที่ซัดตัวอย่างแล้ว ในการพิจารณาผลของอุณหภูมิที่ใช้เผากับค่า PSV หลังซัด จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้เผาสูงขึ้น ค่า PSV หลังซัดจะลดลง ซึ่งอธิบายได้ว่า ที่อุณหภูมิเผาต่ำๆ ความแตกต่างของความแข็งแรงระหว่างเนื้อคินและเม็คทรายมีมาก เมื่อได้รับการซัด คินจะสึกมากกว่า เม็คทรายจะยุบขึ้นสูง ทำให้ผิวมีความหยาบมากกว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้เผาสูงขึ้นคินจะแข็งแรงขึ้น เมื่อได้รับการซัดคินจะไม่สึกต่างกับทรายมาก ซึ่งทำให้ผิวราบเรียบและเป็นผลให้ค่า PSV ต่ำ

เปรียบเทียบค่า PSV ระหว่างคินทั้งสอง เม็คคินราชบุรีให้ค่า PSV สูงกว่า เม็คคินปทุมธานีทั้งก่อนซัดและหลังซัดทุกค่า (ยกเว้นที่  $600^{\circ}\text{C}$ ) เนื่องจากเม็คคินราชบุรีมีค่า AAV สูงกว่า ทำให้การสึกหรอมากกว่า เป็นผลให้การยุบของเม็คทรายสูง และเกิดความหยาบบนผิวมากกว่า

การที่เม็คคินราชบุรีเผา  $600^{\circ}\text{C}$  ให้ค่า PSV ต่ำกว่าเนื่องจากแผ่นสึกหรอหลังซัดมาก (ดูรูปที่ 3.10) แผ่นจะเป็นร่องเว้าของล้อยางที่ซัด และร่องนี้ลึกจนถึงปูนสอ เมื่อรดน้ำแผ่นตัวอย่าง น้ำจะไปรวมกันในร่อง เมื่อทดลองหาค่า PSV แผ่นยางจะปาดไปบนผิวน้ำที่ซังอยู่ หรืออาจเพราะแผ่นยางเมื่อปาดไปจะสัมผัสกับตัวอย่างที่บริเวณมุมของแผ่นยาง ค่าที่อ่านได้จึงต่ำกว่าปกติ

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Hosking<sup>(22)</sup> ซึ่งศึกษามาแล้วในอดีต จะเห็นว่าคล้ายกัน คือค่า PSV ของเม็คคินลดลงเมื่อเผาอุณหภูมิสูงขึ้น

ค่า PSV ของเม็คคินทั้งสองแหล่งนี้สูงพอที่จะนำไปใช้ในผิวทางทั่วไป รวมทั้งจุดที่อาจเกิดอันตรายได้ง่าย เช่น ทางโค้ง ทางลาด เป็นต้น เนื่องจากค่า PSV เกิน 50 ทุกค่า

4.4.2 หินปูนเผา จากตารางผลการทดลองซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 4.4 และผลการทดลองแสดงโดยเส้นกราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า PSV กับอุณหภูมิที่ใช้เผา ของหินปูนสีค่า สีเทา สีขาว ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 4.18-4.20 จะเห็นได้ว่าการเผาไม่ไค้ทำให้ค่า PSV เปลี่ยนแปลงจนถึงแก่โตซัด อาจเนื่องจากความพรุนที่



ที่เกิดขึ้นมีน้อยมาก (การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นประมาณ 1 % เมื่อเผาที่  $700^{\circ}\text{C}$ ) หินปูนสีน้ำตาล  
 ให้ค่า PSV หลังชั้ตสูงเกิน 45 เข้าใจว่าเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของเนื้อหินปูน  
 สังเกตจากหินปูนสีน้ำตาลจะมีรูปร่างผิดปกติในเนื้อหินบางส่วน ความไม่สม่ำเสมอในเนื้อหิน  
 อาจทำให้เกิดความลึกแตกต่างกันเมื่อชั้ต ทำให้ค่า PSV สูง ส่วนหินปูนสีเทา เนื้อค่อนข้าง  
 สม่ำเสมอ จึงทำให้ค่า PSV ต่ำ ส่วนหินปูนสีน้ำตาล สังเกตจะเห็นว่ามีส่วนลึกค่อนข้าง  
 โทและเนื้อหยาบ จึงทำให้ค่า PSV สูง

หินปูนสีน้ำตาลและสีน้ำตาลให้ค่า PSV สูงพอสำหรับใช้ในผิวทางทั่วไป คือมีค่า PSV  
 อยู่ระหว่าง 45-49

4.4.3 แก้ว จากผลการทดลอง แก้วให้ค่า PSV ก่อนชั้ต 51 หลังชั้ต 32  
 ค่าก่อนชั้ตสูงกว่าเนื่องจากความเป็นเหลี่ยมคมของแก้วทำให้เจาะทะลุที่ดุน้ำและสัมผัส  
 ยางไค้ดี แต่ค่าหลังชั้ตต่ำมาก เนื่องจากส่วนที่เป็นเหลี่ยมถูกชั้ตออกจนเกือบเรียบ  
 จึงทำให้ค่า PSV ต่ำ

จากการทดลองของ Kroeyer<sup>(30)</sup> แก้ว Synopal ให้ค่า PSV สูงถึง 50  
 เนื่องจากแก้วที่ชั้ตทดลองเป็นแก้วที่ไค้จากการผลิตด้วยวิธีการเฉพาะ โดยทำให้เกิดผลึก  
 ของเม็คแข็งเล็กๆกระจายในเนื้อแก้ว ทำให้เกิดความลึกแตกต่างกันเมื่อชั้ต และมีความ  
 พรุณ ซึ่งช่วยให้เกิดการระบายน้ำจากผิวสัมผัสไค้ดี แต่แก้วที่ชั้ตทดลองครั้งนี้ไม่มีจุดมุ่ง  
 หมายในการผลิตเพื่อใช้ในงานทาง

4.4.4 ตะกรันเตาถลุง จากผลการทดลอง ตะกรันเตาถลุงแบบพรุณมาก  
 พรุณแน่น และแน่น ให้ค่า PSV ก่อนชั้ต 78-73 63 หลังชั้ต 59 45 42 ตามลำดับ  
 จะเห็นว่า ตะกรันเตาถลุงที่มีความพรุณสูงจะให้ค่า PSV สูงกว่าทั้งก่อนชั้ตและหลังชั้ต

การที่วัสดุเนื้อพรุณให้ค่า PSV สูง อธิบายได้ว่า น้ำที่คลุมผิววัสดุจะหลุดลงจาก  
 ผิวสัมผัสไปตามรูปพรุณไค้ จึงทำให้วัสดุสัมผัสกับยางไค้ดี<sup>(47)</sup> รูปพรุณที่ดีที่สุดควรมี

ขนาด 0.125 มม. จากการสังเกตพบวาล์วพุนของตะกรันเตาถลุงมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ตะกรันเตาถลุงนี้ ในต่างประเทศนำไปใช้ในงานทางไดคัท ให้ค่าความต้านทานการฉีกฉีกสูง<sup>(32)</sup> แต่ในประเทศไทย ยังมีได้มีการนำมาใช้ในงานทาง หากการผลิตมีจุดประสงค์ เพื่อการนี้ อาจปรับปรุงคุณภาพให้สูงกว่านี้ได้อีก ตะกรันเตาถลุงที่ให้ค่า PSV สูงพอที่จะนำไปใช้ในผิวทางตามจุดอันตรายคือแบบพุนมาก และในผิวทางทั่วไปคือแบบพุนแน่น

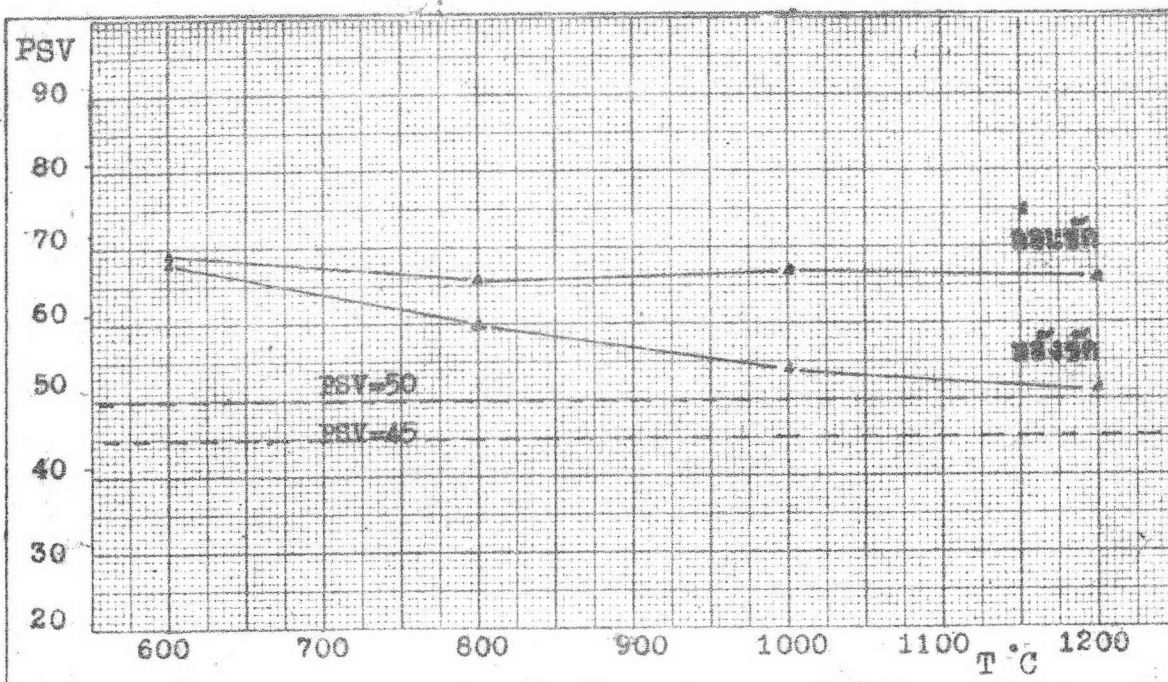
4.4.5 ตะกรันเตาหลอม จากการทดลอง ตะกรันเตาหลอมแบบพุนมาก และพุนน้อยให้ค่า PSV ก่อนชด 75 72 หลังชด 51 50 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าสูงพอสำหรับ ใช้ในผิวทางใดทุกจุด

ตารางที่ 4.4						
ผลการทดสอบหาค่า PSV ของมวลรวม						
ตัวอย่าง	t <sup>o</sup> C	ค่า PSV เฉลี่ยที่ t <sup>o</sup> C		ค่า PSV เฉลี่ยที่ t <sup>o</sup> C		หมายเหตุ
		ก่อนชัค	หลังชัค	ก่อนชัค	หลังชัค	
		<u>เม็ดดินผสมทรายเผา</u>				
ดินปทุมธานี เเผา 600 <sup>o</sup> C	28	65	64	69	68	เรียงขวาง
" " 800 <sup>o</sup> C	27	62	51	66	60	"
" " 1000 <sup>o</sup> C	28	63	51	67	54	"
" " 1200 <sup>o</sup> C	29	61	47	66	51	"
<u>ดินราชบุรี</u> เเผา 600 <sup>o</sup> C	28	68	59	72	63	"
" " 800 <sup>o</sup> C	27	68	62	72	66	"
" " 1000 <sup>o</sup> C	28	70	60	75	64	"
" " 1200 <sup>o</sup> C	27	73	55	67	58	"
" " 900 <sup>o</sup> C	29	70	65	75	70	"
" " 900 <sup>o</sup> C	27	64	61	68	65	เรียงตามยาว
" " 900 <sup>o</sup> C	27	65	61	69	65	เรียงคละ
<u>หินปูนเผา</u>						
หินปูนสีค่า ปรกติ	27	65	45	69	48	
" เเผา 176 <sup>o</sup> C	27	63	45	67	47	
" " 300 <sup>o</sup> C	27	65	45	69	48	
" " 500 <sup>o</sup> C	27	66	46	70	49	
" " 700 <sup>o</sup> C	27	63	45	67	48	

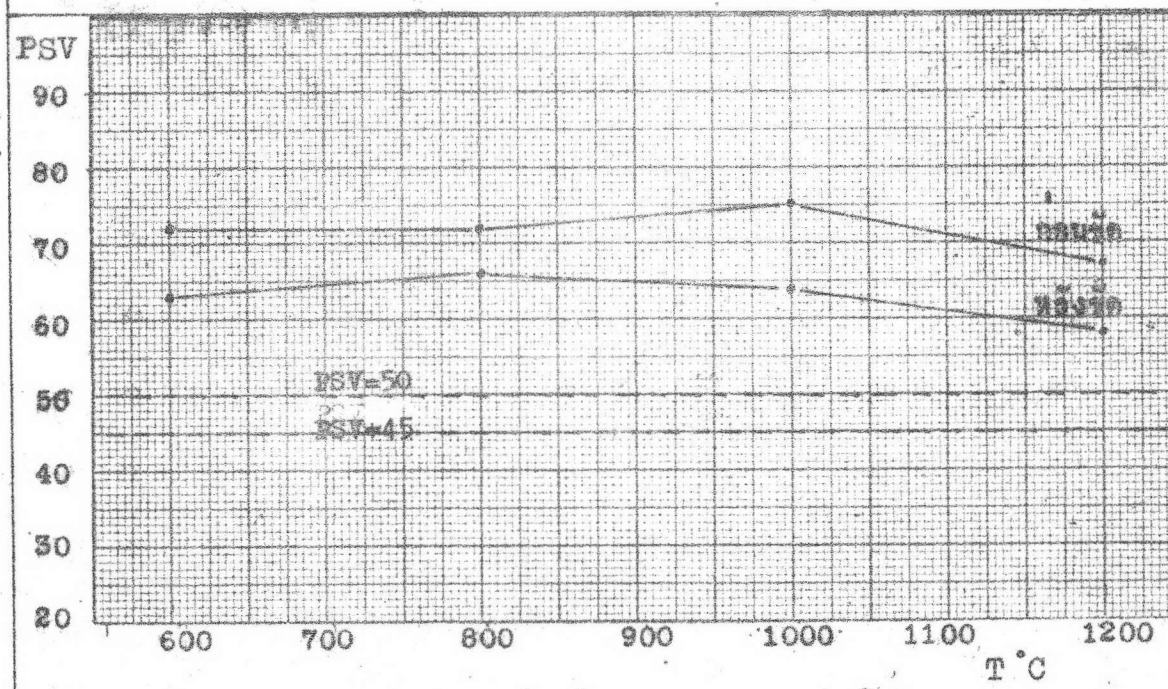
(ความหนาฟิล์มนำเฉลี่ย 0.5 มม. ตลอด)

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)						
ผลการทดสอบหาค่า PSV ของมวลรวม						
ตัวอย่าง	t <sup>o</sup> C	ค่า PSV เฉลี่ยที่ t <sup>o</sup> C		ค่า PSV เฉลี่ยที่ t <sup>o</sup> C		หมายเหตุ
		ก่อนซัด	หลังซัด	ก่อนซัด	หลังซัด	
หินปูนสีเทา ปกติ	28	66	37	70	39	
" เฒ่า 176 °C	28	63	40	67	43	
" " 300 °C	28	66	49	70	43	
" " 500 °C	28	65	41	69	44	
" " 700 °C	28	65	40	69	43	
หินปูนสีขาว ปกติ	27	68	46	72	49	
" เฒ่า 176 °C	28	68	44	73	47	
" " 300 °C	27	65	46	69	49	
แกลว	27	48	30	51	32	
<u>ตะกรันเตาแดง</u>						
เหล็กสยาม พรุนมาก	27	74	56	78	59	
" พรุนแน่น	28	68	42	73	45	
" แน่น	27	60	40	63	42	
<u>ตะกรันเตาหลอม</u>						
จี เอส สตีล พรุนมาก	27	68	48	75	51	
" พรุนน้อย	27	71	47	72	50	

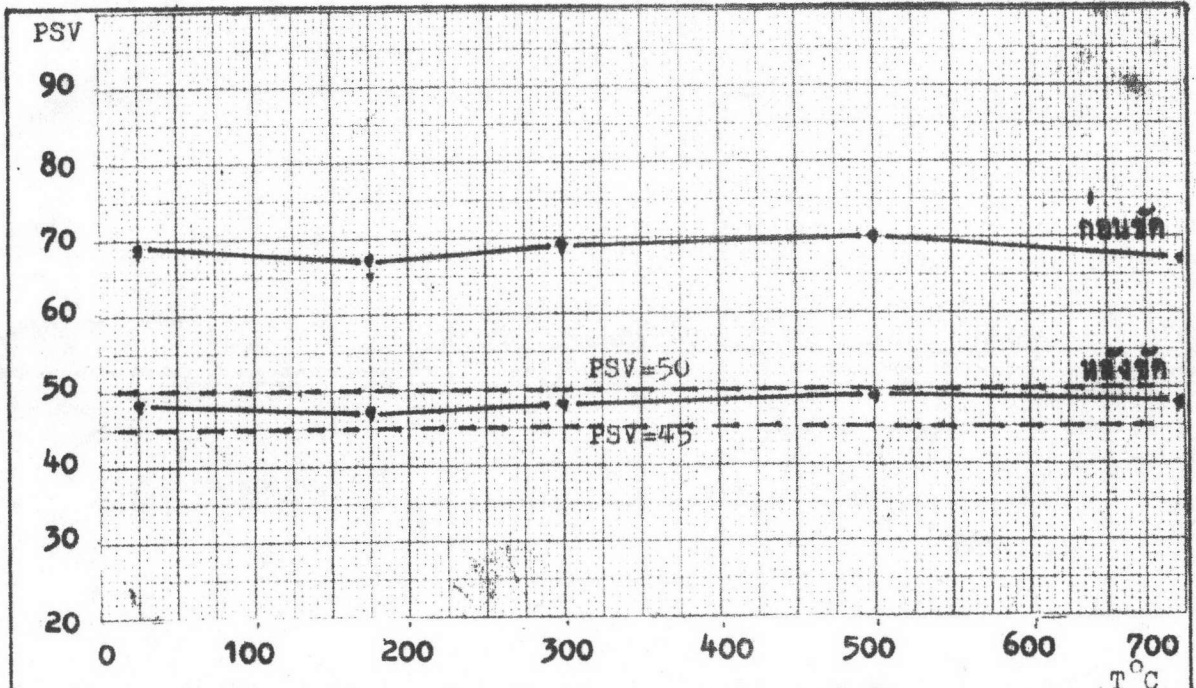
(ความหนาพิคม่น้ำเฉลี่ย 0.5 มม. ตลอด)



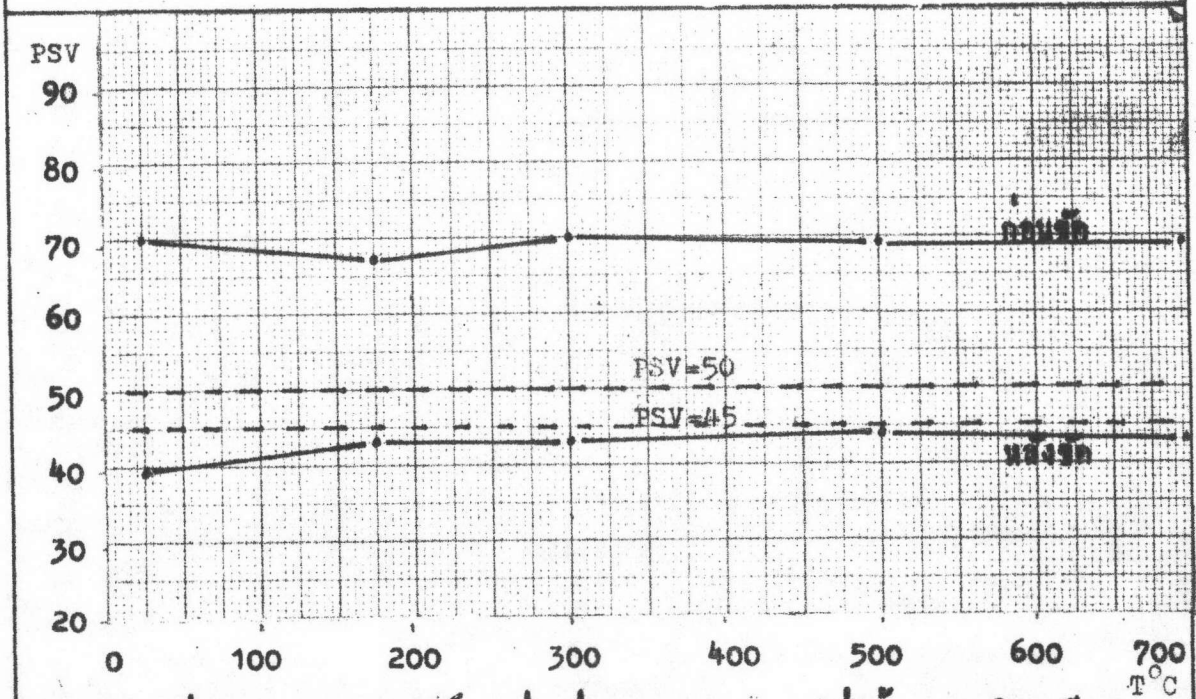
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าPSV และอุณหภูมิที่ใช้เผาของเม็คคิน ปทุมธานีผสมทราย



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าPSV และอุณหภูมิที่ใช้เผาของเม็คคินราชบุรี ผสมทราย



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV และอุณหภูมิที่ไร้อาการงอหินปูนสีน้ำตาล



รูปที่ 8.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV และอุณหภูมิที่ไร้อาการงอหินปูนสีเทา

