บทที่ 2

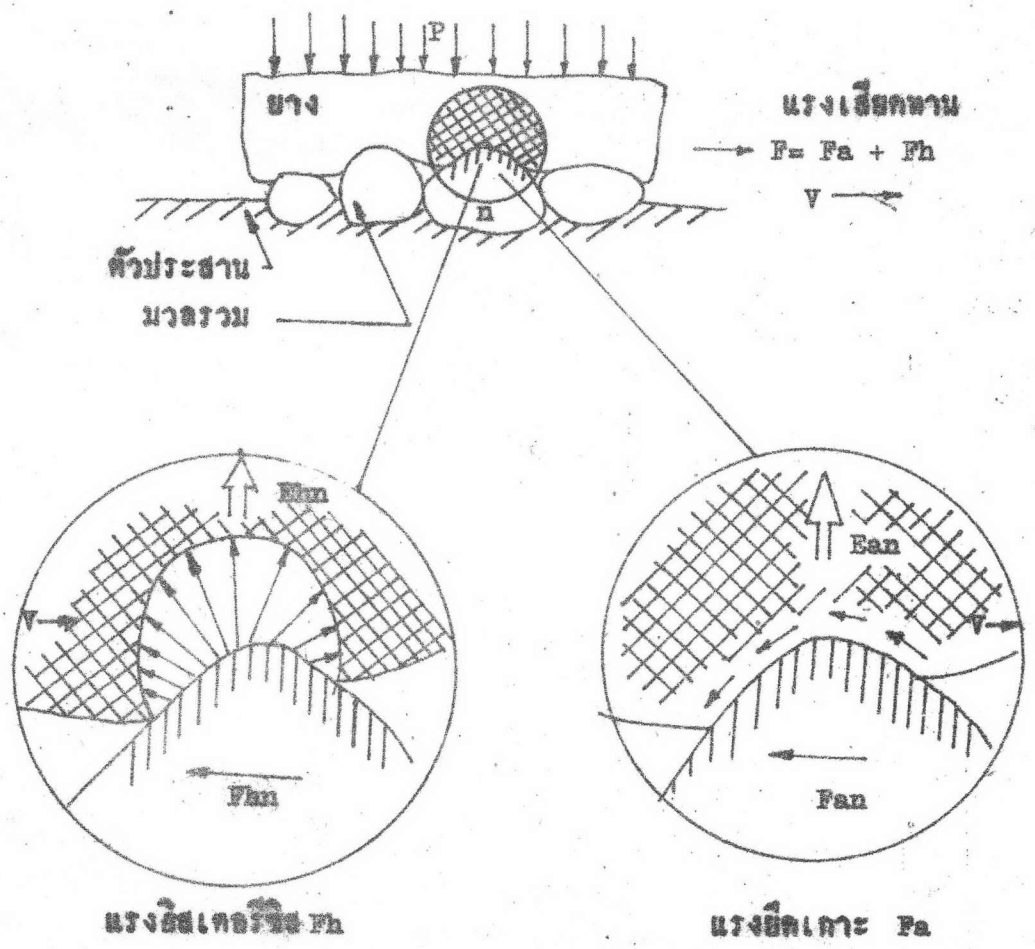
การวิจัยที่เกี่ยวข้องที่เคยกระทำมา

2.1 องค์ประกอบของความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง

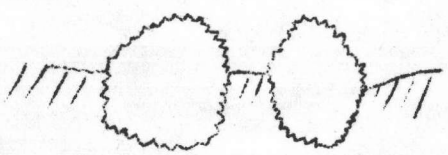
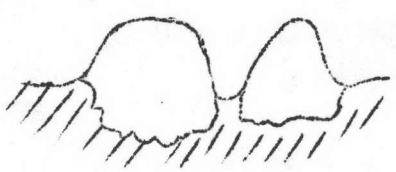
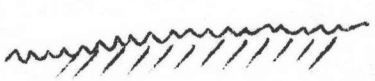
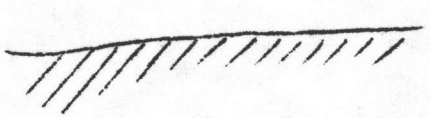
ความต้านทานการลื่นไถลประกอบด้วยสององค์ประกอบคือ แรงยึดเกาะระหว่างยางและผิวทาง (Adhesion force) และแรงฮิสเตอรีซิส (Hysteresis force) (รูปที่ 2.1) แรงยึดเกาะเป็นแรงที่เกิดระหว่างยางและผิวของมวลรวม แรงนี้ขึ้นกับกำลังเฉือนและพื้นที่สัมผัสระหว่างยางและมวลรวม แรงยึดเกาะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีสิ่งสกปรกหรือของเหลวคั่นกลางระหว่างผิวทั้งสอง[6] แรงฮิสเตอรีซิสเป็นการดูดกลืนพลังงานเมื่อยางยุบตัวและแล่นผ่านมวลรวมบนผิวทาง ถ้ายุบตัวมาก มีการดูดกลืนมาก แรงนี้ไม่ขึ้นกับสิ่งหล่อลื่นระหว่างผิวสัมผัส แต่ขึ้นกับชนิดของยาง และไวต่ออุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น แรงฮิสเตอรีซิสจะลดลง[7]

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผิวมหภาคและผิวจุลภาคต่อความต้านทานการลื่นไถล

ผิวมหภาค (Macro texture) และผิวจุลภาค (Micro texture) เป็นคำที่ใช้อธิบายลักษณะความขรุขระของผิวทางและความหยาบของก้อนมวลรวม ผิวมหภาคหมายถึงผิวขนาดใหญ่ซึ่งเกิดจากขนาดและรูปร่างของมวลรวมบนผิวทาง ผิวจุลภาคหมายถึงผิวของแต่ละก้อนของมวลรวมบนผิวทาง (รูปที่ 2.2) ผิวมหภาคที่ดีให้ประโยชน์สองประการคือ ให้การระบายน้ำระหว่างยางและผิวทางที่บริเวณจุดสัมผัสได้สะดวก และช่วยให้ยางยุบตัว เมื่อแล่นด้วยความเร็วสูง อันทำให้เกิดแรงฮิสเตอรีซิสขึ้น ผิวจุลภาคที่ดีจะให้ความหยาบเพียงพอ ให้เกิดความต้านทานการลื่นไถลของรถที่แล่นด้วยความเร็วระดับหนึ่ง[8] อย่างไรก็ตามผิวทั้งสองแบบมีความจำเป็นสำหรับผิวทางที่ดี[9]



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของแรงเสียดทานระหว่างยางและพื้นทาง

	ผิว	ขนาดของลักษณะผิว	
		มหภาค (ขนาดใหญ่)	จุลภาค (ขนาดเล็ก)
1		ขรุขระ	หยาบ
2		ขรุขระ	เนียน
3		เรียบ	หยาบ
4		เรียบ	เนียน

รูปที่ 2.2 ภาพแสดงความแตกต่างของลักษณะผิวทาง

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 ผลของความเปียกของผิวทางต่อความต้านทานการลื่นไถล

Ariano[10] พบว่า ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางเปียกจะลดลงเมื่อความหนาของฟิล์มน้ำบนผิวทางมากขึ้น เขารายงานว่า ถนนที่เปียกน้อย ๆ หรือเมื่อฝนตกช่วงสั้น ๆ มีอันตรายมากกว่า เนื่องจากฝุ่นละอองรวมตัวกันเป็นชั้นบาง ๆ เกาะอยู่กับมวลรวมของผิวทาง เมื่อเปียกเล็กน้อยฝุ่นเหล่านี้จะลื่นมาก เมื่อถนนเปียกมากขึ้นก็จะชะล้างฝุ่นเหล่านี้ให้หมดไป

น้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ระหว่างผิวสัมผัสของยางและผิวทาง จะต้องถูกขับออกตามร่องมวลรวมหรือร่องดอกยาง ด้วยการระบายซึ่งเกิดจากผิวมหภาคที่ดี น้ำส่วนที่เหลืออยู่บริเวณผิวสัมผัสซึ่งระบายไปไม่ทันผิวจุลภาคต้องช่วยขับออกด้านข้าง สำหรับผิวจุลภาคที่ดีความหยาบของเม็ดที่ผิวมวลรวมสามารถเจาะทะลุฝิวน้ำช่วยให้เกิดการสัมผัส และเกิดแรงยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับยางได้ดีขึ้น

Horne[11] ได้ศึกษาพบว่า เมื่อความเร็วรถสูงขึ้นเวลาที่ใช้ในการขับน้ำลดลง เมื่อน้ำถูกขับออกไม่ทัน จะเกิดแรงดันระหว่างผิวทางและหน้ายาง ค่าความต้านทานการลื่นไถลจะลดลง เมื่อแรงดันนี้สูงขึ้นจนถึงระดับเดียวกับแรงดันที่ยางมีต่อผิวทาง ยางจะร่อนไปบนผิวน้ำ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า "ไฮโดรเพลนนิ่ง" (Hydroplaning) เขาพบอีกว่าประสิทธิภาพของดอกยางจะสูญไปเมื่อความสูงของน้ำมากกว่าความลึกของร่องดอกยาง

2.4 อิทธิพลของฤดูกาลต่อความต้านทานการลื่นไถล

ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางแห่งหนึ่งจะไม่คงที่ตลอดปี Gile, et al.[12] พบว่าความต้านการลื่นไถลในฤดูหนาวสูงกว่าในฤดูร้อน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงผิวจุลภาคซึ่งเกิดจากอุณหภูมิ น้ำฝน และฝุ่นบนถนน ฝุ่นละเอียดซึ่งมีมากในฤดูร้อนทำให้เกิดการขัดสีได้ลื่นกว่า ฝุ่นเหล่านี้หายไปเมื่อฝนตก ผิวถนนจะหยาบสุดในฤดูฝน เนื่องจากมีฝุ่นละเอียดน้อย

ค่าความต้านทานการลื่นไถลวัดโดย British Portable Tester เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิด้วย Giles และ Sabey[13] พบว่า เป็นผลเนื่องจากความต้านทานทางฮิสเตอรีซิสของยางกับผิวสัมผัสที่อุณหภูมิสูงลดลง ทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลลดต่ำลงด้วย

2.5 ประสิทธิผลของมวลรวมในผิวทางแอสฟัลท์และผิวทางคอนกรีต

ในผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต มวลรวมถูกหุ้มด้วยปูนสอ มวลรวมหยาบไม่เผยรับยวดยานเท่ามวลรวมในผิวทางแอสฟัลท์ ปูนสอซึ่งประกอบด้วยมวลรวมละเอียดเป็นตัวสำคัญที่ให้คุณสมบัติความต้านทานการลื่นไถลในผิวทางคอนกรีต[14] ในผิวทางแอสฟัลท์ ปริมาณยางแอสฟัลท์และการผุดของมวลรวมหยาบมีผลต่อความต้านทานการลื่นไถลโดยเฉพาะเมื่อผิวทางเปียก[15]

2.6 การศึกษาค่าความต้านทานการลื่นไถล

2.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดในสนามและในห้องทดลองของ British Portable Tester Maclean และ Shergold[16] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า SRV ที่วัดในสนามและค่า PSV ที่วัดในห้องทดลอง โดยเครื่อง British Portable Tester โดยการฝังหินตัวอย่างแบบต่างๆบนถนนที่มีปริมาณการจราจรต่างๆกัน พบว่าค่าทั้งสองคล้ายกันเมื่อถนนนั้นมีปริมาณการจราจรหนัก 60,000 ตัน ต่อวันและพบว่า หินบนทางตรงจะถึงสภาพการขัดสีสูงสุดคล้ายในห้องทดลองเมื่อให้รถผ่านเป็นเวลา 45 วัน แต่บนทางโค้ง จะถึงสภาพเช่นนี้ในเวลา 14 วัน

2.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการลื่นไถลที่วัดโดย British Portable Tester กับเครื่องมืออื่น Giles, et al.[12] ได้ทดลองเปรียบเทียบค่าที่วัดโดย British Portable Tester กับเครื่องมือในสนามอื่น พบว่า ค่าที่อ่านสัมพันธ์กันดีกับเครื่องมือที่ใช้ยางมีดอกที่ความเร็ว 30 ไมล์ ต่อชั่วโมง สำหรับยางไม่มีดอก ค่าสัมพันธ์กันต่อเมื่อวัดบนผิวทางที่หยาบ ค่าเฉลี่ยวัดโดย British Portable Tester สูงกว่าเครื่องอื่นประมาณ 5 หน่วย

ทั้งนี้ เนื่องจากแผ่นยางของ British Portable Tester สัมผัสกับผิวทางแคบๆ ทำให้มีการระบายน้ำที่จุดสัมผัสได้ดีคล้ายยางมีดอก

2.6.3 การประมาณค่า SFC จากค่า PSV ค่า SFC ซึ่งเป็นค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางวัดโดย Side Force Friction Tester อาจประมาณได้จากค่า PSV ซึ่งวัดในห้องทดลอง เมื่อทราบปริมาณการจราจรของยวดยานพาณิชย์ จากสูตรของ Szatkowski และ Hosking[17] ดังนี้

$$SFC = 0.024 - 0.663 \times 10^{-4} Qcv + 1 \times 10^{-2} PSV$$

เมื่อ Qcv =ปริมาณการจราจรของยวดยานพาณิชย์ (คัน/ช่องทาง/วัน)

PSV =ค่า PSV ของมวลรวมชนิดเดียวกัน

สูตรนี้เป็นประโยชน์ในการประมาณค่า SFC ของผิวทางโดยที่ยังไม่ต้องสร้างจริง และเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุที่จะนำไปใช้ เพื่อให้ได้ค่าความต้านทานการลื่นไถลตามมาตรฐาน สำหรับหินทางในประเทศไทยSukawan และ Chaichotechuang[2] ได้ศึกษาพบว่าสามารถนำสูตรนี้ไปประมาณค่า SFC ได้ใกล้เคียง

2.7 ค่าขั้นต่ำที่ใช้กำหนดความต้านทานการลื่นไถล

การกำหนดค่าขั้นต่ำแบ่งเป็น 2 แบบ[18] คือ

2.7.1 กำหนดค่าความต้านทานการลื่นไถลในถนนที่ระบุ และช่วงเวลาที่ถนนนั้นต้องมีค่าความต้านทานการลื่นไถลไม่ต่ำกว่าที่กำหนด

2.7.2 กำหนดชนิดของวัสดุที่ให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลและความต้านทานการสึกหรอสำหรับใช้ในงานทาง

ค่าความต้านทานการลื่นไถลของแต่ละถนน ขึ้นกับความเร็ว ลักษณะถนนและปริมาณจราจรที่ออกแบบไว้

ในประเทศอังกฤษ[19] แบ่งถนนเป็น 3 ประเภท คือ

ประเภท ก. ถนนตามจุดอันตราย วงเวียน โค้งที่มีรัศมีน้อยกว่า 500 ฟุต ทางลาดลงที่มีความลาดเกิน 5% ความยาวทางลาดเกิน 300 ฟุต และที่ใกล้ไฟสัญญาณ

ประเภท ข. ถนนชั้นหนึ่ง หรือถนนในเมืองที่มีปริมาณการจราจรเกิน 2,000 คันต่อวัน

ประเภท ค. ถนนอื่น ๆ

ค่าขั้นต่ำซึ่งทดสอบโดย British portable tester กำหนดไว้ดังนี้

ประเภท ก.	65
ประเภท ข.	55
ประเภท ค.	45

ถนนประเภท ก. และ ข. กำหนดความลึกผิวต้องไม่น้อยกว่า 0.025 นิ้ว (0.63 มม.) ถ้าความเร็วจราจรเกิน 60 ไมล์ต่อชั่วโมง

การกำหนดมาตรฐาน ถ้าสูงมากเป็นการสิ้นเปลืองค่าซ่อมบำรุงและเปลืองในการหาวัสดุคุณภาพสูงมาใช้ การกำหนดควรแตกต่างตามความเหมาะสมของเศรษฐกิจและช่วงเวลาที่ผิวถนนเปียกซึ่งทำให้เกิดการลื่นไถล

สำหรับประเทศไทย ยังมิได้กำหนดค่าขั้นต่ำไว้เป็นมาตรฐานทั้งถนนและวัสดุ แต่จากผลการศึกษาของ Bunnag, et al.[1] แนะนำว่าค่าขั้นต่ำที่ควรใช้สำหรับผิวทางในประเทศไทยควรเป็นดังนี้

จุดอันตราย เช่น โค้ง วงเวียน ทางชัน จุดใกล้ไฟสัญญาณ และจุดที่เกิดอุบัติเหตุบ่อย	British Portable number 50	Mu metor number 30
ทางหลวงชั้น 1 และชั้น 2 และถนนแยกที่มีปริมาณการจราจรเกิน 1,500 คัน/วัน	45	25

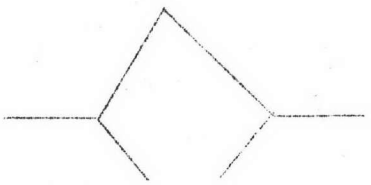
2.8 <u>แบบที่ใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการค้นคว้าเพื่อผลิตมวลรวมประดิษฐ์</u>

เนื่องจากหินธรรมชาติที่ให้ความต้านทานการขัดสีดีที่สุด มักขาดคุณสมบัติด้านความต้านทานการสึกหรอ ซึ่งจำเป็นสำหรับถนนในส่วนที่ต้องการความต้านทานการลื่นไถลสูง เช่นทางโค้ง เป็นเหตุให้วิศวกรงานทางศึกษาเพื่อหาวัสดุอื่นขึ้นมาแทนวัสดุธรรมชาติ เจมส์[20] ได้ให้หลักเกณฑ์ของมวลรวมที่สมควรนำมาใช้ทำผิวทาง ดังนี้ (รูปที่ 2.3)

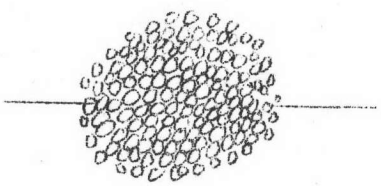
2.8.1 มวลรวมที่แข็งมาก (Very hard material) ทนต่อการสึก และขัดสีของยาง (เช่นคอรันดัม) วัสดุเหล่านี้แพงมาก

2.8.2 มวลรวมซึ่งเกิดจากเม็ดแข็งเล็กๆรวมกัน (Conglomerate) มวลรวมชนิดนี้จะคงความคมไว้โดยการหลุดไปทีละเม็ด (เช่นหินทราย)

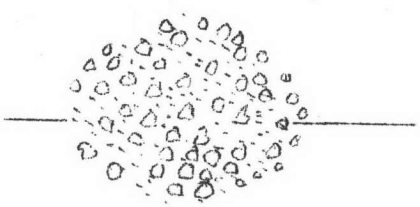
2.8.3 มวลรวมที่มีการกระจายของวัสดุเนื้อแข็งในเนื้อที่อ่อนกว่า (Dispersion of hard particles in soft matrix) เมื่อเนื้อวัสดุที่หุ้มสึก เม็ดวัสดุเนื้อแข็งจะผุด ทำให้ผิวคงความหยาบอยู่เสมอ



1. มวลรวมที่มีเนื้อแข็งมาก

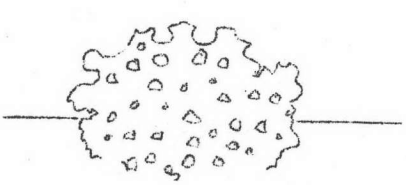


2. มวลรวมที่ประกอบด้วย
เม็ดแข็งเล็กๆรวมกัน



3.มวลรวมที่มีการกระจายของ
เม็ดแข็งเล็กในเนื้อที่อ่อนกว่า

4. มวลรวมที่แตกแล้วให้ผิวที่
ไม่เป็นระเบียบ



5. มวลรวมที่มีเนื้อพรุน

รูปที่ 2.3 แบบช่องมวลรวมที่ใช้ทำผิวทางเพื่อให้เกิดความต้านทานการลื่นไถลสูง

2.8.4 มวลรวมที่แคลก่อแล้วให้ผิวที่ไม่เป็นระเบียบ และสาก เช่น แคลไซนด์ ฟลินท์ (Calcined flint)

2.8.5 มวลรวมที่มีเนื้อพรุน (Porous aggregate) เช่นตะกรันเตาถลุงหินฟิวมิส พวกนี้ให้ความต้านทานการลื่นไถลดีกว่าวัสดุเนื้อแน่น

2.9 การศึกษามวลรวมประดิษฐ์เพื่อใช้ในงานทาง

มวลรวมแบบต่างๆที่มีการศึกษา เพื่อนำมาใช้เป็นมวลรวมแทนหินธรรมชาติมีดังนี้

2.9.1 แคลไซนด์ บอกไซท์ (Calcined bauxite) มีคุณสมบัติเด่นหลายประการคือ แข็งมาก มีการกระจายของคอรันดัมเล็กๆอยู่ทั่วมวลรวม เป็นวัสดุที่มีความพรุนในตัวเอง จากการศึกษา[21] แคลไซนด์ บอกไซท์ให้ความต้านทานการลื่นไถลสูงมาก มีค่าความสึกหรอต่ำ มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดในบรรดามวลรวมประดิษฐ์ที่เคยผลิตมาเพื่อใช้เป็นมวลรวมของผิวทาง แต่มีราคาแพงมาก

2.9.2 มวลรวมกริต (Gritty aggregate) Hosking[22] ได้ศึกษาการฝังกริต (grit) หรือเม็ดวัสดุที่มีเนื้อแข็ง อัตราส่วนและขนาดต่างๆกัน ลงในวัสดุเนื้อต่างๆกัน พบว่าใช้กริต 10-20 % ขนาด 150-200 ไมครอน ให้ค่าดีที่สุด เมื่อคำนึงถึงราคา และความแข็งแรงที่ลดลงเนื่องจากกริตมากขึ้น นอกจากนั้นเขายังพบว่ากริตที่มีขนาดเดียวกันให้ความต้านทานการลื่นไถลสูงกว่า กริตที่มีขนาดเรียงกัน ให้ความต้านทานการสึกหรอดีกว่า

2.9.3 มวลรวมพรุน (Porous aggregate) Hosking[23] ได้ศึกษาวัสดุที่มีเนื้อพรุนชนิดต่างๆ พบว่าความต้านทานการลื่นไถลเป็นสัดส่วนกับความพรุน ช่วงขนาดรูพรุนที่ดีที่สุดคือ 150-300 ไมครอน นอกจากนี้เขายังศึกษาการนำดินมอสไซท์ที่มีอลูมินาสูงมาเผา พบว่าเมื่อความพรุนของดินหลังเผาเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานการลื่นไถลจะดีขึ้น แต่ค่าความสึกหรอจะเพิ่มขึ้นด้วย ขนาดรูพรุนที่ดีที่สุดคือ 125 ไมครอน ปริมาณความพรุนที่ดีที่สุดอยู่ระหว่าง 25-35 %

2.9.4 มวลรวมที่มีรูปร่างต่างๆกัน ข้อเสียของการผลิตมวลรวมประดิษฐ์โดยการบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงคือ ได้มวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าที่ต้องการด้วย ซึ่งขายยาก อีกประการคือความไม่สม่ำเสมอของเนื้อมวลรวมแต่ละก้อน วิธีแก้ปัญหาคือ ผลิตให้เป็นรูปร่างตามแบบที่กำหนด

Transport and Road Research Laboratory โดยความร่วมมือของ Messr. Coalmoor Refractory[24] ได้ศึกษาพฤติกรรมของมวลรวมที่ผลิตเป็นรูปร่างแบบต่างๆเพื่อใช้ในผิวทาง พบว่า มวลรวมรูปแท่งทรงกระบอกกลมและทรงกระบอกหกเหลี่ยม ที่มีความยาวอย่างน้อย $1\frac{1}{2}$ เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง จะให้ความฝืดผิวของผิวทางมากที่สุด

2.9.5 มวลรวมประดิษฐ์ที่ได้จากการเผาหินชนิดต่างๆ จากการที่พบว่า หินฟลินท์เมื่อเผาที่ 1000 °C สีจะเปลี่ยน และค่า PSV สูงขึ้น Hosking[25] ได้ทดลองเผาหินจำพวกซิลิกาชนิดต่างๆ ที่ 1000 °C เป็นเวลา 15 นาที เขาพบว่า ถ้าเผาหินก้อนใหญ่แล้วบด จะให้ค่า PSV เพิ่มสูงมากกว่าการบดแล้วนำมาเผา ผลจากการเผาหินจะทำให้ค่าความสึกหรอ (AAV) สูงขึ้น (ค่านี้มากไม่ดี)

2.10 การศึกษาการใช้ดินเหนียวเป็นมวลรวมประดิษฐ์

Hosking[22] ได้ศึกษาการใช้ดินเหนียว Accrington shale, White ball clay, Etruria marl, silt และ Colliary shale เป็นมวลรวมประดิษฐ์ในรูปดินเผา โดยอัดเป็นแผ่นกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 75 มม. หนา 45มม. ใช้ความดัน 5 ตันต่อตร.นิ้ว เผาที่ 1000-1200 °C ใช้แคลไซนด์ บอกไซท์ขนาด 150-400ไมครอน เป็นกริต ในอัตราส่วน 20% โดยน้ำหนัก เผาแล้วบดแตก ได้ค่า PSV และ AAV (ทดลองตาม BS.812[5] ซึ่งกำหนดค่า AAV ต้องไม่เกิน 10%) ดังนี้

Accrington shale	PSV = 70	AAV = 5.7 %
Ball clay	PSV = 57	AAV = 7.9 %
Silt	PSV = 72	AAV = 13 %

001663

เขาพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ความต้านทานการสึกหรอเพิ่ม แต่ความต้านทานการลื่นไถลลดลง การเพิ่มแคลไซนด์ บอกไซท์จะเพิ่มความต้านทานการลื่นไถล แต่เพิ่มค่าความสึกหรอ ความกันในการอัดดินไม่ทำให้ค่า PSV เปลี่ยนแปลง

2.11 <u>การศึกษาความต้านทานการลื่นไถลของหินปูน</u>

หินปูนเป็นวัสดุที่มีเนื้ออ่อน ค่าความแข็งประมาณ 3 ใน Mohr scale สามารถรับการขัดสีจากผงแทบทุกชนิดซึ่งอยู่บนถนน(26)

Gray และ Rennington(27) พบว่า ค่าความต้านทานการลื่นไถลของมวลรวมจำพวกหินปูนขึ้นอยู่กับอัตราการสึกของแร่ที่ประกอบอยู่ในเนื้อหิน และแปรโดยตรงกับปริมาณสารที่ไม่ละลายในกรดขนาดเท่าเม็ดทรายที่ปนในเนื้อหิน

Shupe และ Lounsbury(28) รายงานว่า ค่าความต้านทานการลื่นไถลขึ้นอยู่กับปริมาณแคลเซี่ยม คาร์บอเนต หรือแคลไซท์ที่อยู่ในเนื้อหิน ถ้ามีมาก จะมีโอกาสรับการขัดสีจนกร่อนได้มากกว่า

Stutzenberger(26) ได้ศึกษาการขัดสีของหินปูนและหินทราย เขาพบว่า

1. แรงเสียดทานเมื่อแห้งระหว่างยางกับหินปูน หินทราย แก้ว ไม่ขึ้นอยู่กับชนิด และลักษณะของมวลรวม
2. แรงเสียดทานเมื่อเปียกขึ้นอยู่กับลักษณะผิว แต่ไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวม

เขาแนะนำว่า ผิวทางหินปูนอาจคงให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลสูงอยู่ได้ โดยการโรยทรายหยาบบนผิวถนนเป็นครั้งคราว เพื่อขัดผิวถนนให้หยาบโดยยวดยาน

Shupe และ Goetz(29) ได้ศึกษาการผสมมวลรวมที่มีความต้านทานการลื่นไถลสูงกับหินปูน ในขนาดและอัตราส่วนต่างๆกันบนผิวทาง เขาพบว่า เมื่อใช้มวลรวมหยาบที่มีค่าความต้านทานการลื่นไถลสูงมาผสมกับหินปูน จะให้ผลดีกว่าใช้มวลรวมละเอียดที่มีค่าความต้านทานการลื่นไถลสูงมาผสม

2.12 การศึกษาการใช้แก้วเป็นมวลรวมประดิษฐ์

Kroyer[30] ได้ศึกษาการใช้แก้วชื่อ Synopal ขนาด 3-12 มม. เป็นมวลรวมประดิษฐ์ แก้วนี้มีส่วนประกอบ $SiO_2 \simeq$ 60 %, MgO+CaO = 20 %, $Al_2O_3 <$ 5 % $K_2O + Na_2O <$ 5%, $Fe_2O_3 <$ 1 %, S < 0.5 %, C เล็กน้อย ซึ่งสามารถผลิตได้โดยการเหวี่ยงผสมของแก้วลงในน้ำขณะที่กำลังหลอมเหลว ควบคุมอุณหภูมิของการเย็นตัว ทำให้ได้มวลรวมคุณภาพดี มีความพรุน 15 % โดยปริมาตร มีแร่ธาตุเป็นเม็ดกระจายในเนื้อแก้ว แก้วนี้ให้ค่า PSV สูงถึง 50

2.13 การศึกษาการใช้ตะกรันเตาถลุง และตะกรันเตาหลอมในงานทาง

Parker และ Ryder[31] พบว่า ถ้ามีส่วนประกอบของ CaO ในตะกรันเตาถลุงปริมาณสูง จะเกิดผลึกของ dicalcium silicate ซึ่งแตกป่นอย่างรวดเร็วเมื่อเปลี่ยนรูปผลึก เขาพบว่า dicalcium silicate จะไม่เกิด ถ้าส่วนประกอบจำกัดอยู่ในสูตรต่อไปนี้

$$CaO \leq 0.9\ SiO_2 + 0.6\ Al_2O_3 + 1.75\ S$$

หรือ

$$CaO + 0.8\ MgO \leq 1.2\ SiO_2 + 0.4\ Al_2O_3 + 1.75\ S$$

ตะกรันเตาถลุงมีผิวหยาบ ความพรุนสูง และมีปฏิกิริยาต่อด่าง จึงยึดเกาะกับตัวประสานได้ดี และให้ความต้านทานการหลุดลอกดีที่สุดแม้มีน้ำอยู่ด้วย[32]

Wilson[33] และ Brown[34] ได้ศึกษาพบว่า ตะกรันเตาถลุงมีความแตกต่างในค่า PSV มาก แม้มาจากเตาเดียวกัน ตะกรันเตาถลุงให้ความต้านทานการลื่นไถลได้ดีกว่าที่คาดจากค่า PSV Wilson[33] พบว่า แม้เวลาผ่านไป 9 ปี ตะกรันเตาถลุงที่มีค่า PSV= 50 ยังคงให้ค่า SFC เท่ากับหินที่มีค่า PSV= 56-60

ตะกรันเตาถลุงสามารถปรับปรุงให้ค่า PSV สูงขึ้นได้ เช่นผสมแคลไซน์บอกไซท์ให้กระจายในเนื้อตะกรันขณะที่หลอมเหลว[22] การเผา (Heat treatment) ทำให้ค่า PSV สูงขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนโครงสร้างของผลึก ทำให้ผลึกหยาบขึ้น[35]

ตะกรันเตาหลอมให้ค่า PSV สูงกว่าตะกรันเตาถุงแม้จะมีเนื้อแน่นกว่าและมีความแข็งแรงสูงกว่า จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ทำผิวทางที่มีปริมาณการจราจรสูง(32)

2.14 มาตรฐานของมวลรวมที่นำมาใช้เป็นวัสดุผิวทาง(2,3)

กรมทางหลวงได้กำหนดมาตรฐานว่า มวลรวมที่นำมาใช้เป็นวัสดุผิวทาง ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

มวลรวมต้องสะอาด เหนียว ทน ปราศจากสิ่งสกปรกหรือสิ่งเจือปน

ค่าความสึกหรอ ทดลองโดย Los Angeles Machine ต้องไม่เกิน 40 %

การหลุดลอกของมวลรวมจากยางแอสฟัลท์ ทดลองโดยวิธี Plate test ต้องไม่เกิน 20 %

เมื่อใช้หินย่อยหรือกรวดย่อย ดัชนีความแบน (Flakiness Index) ต้องไม่เกิน 35 %

กรณีที่ใช้กรวดย่อย ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ของกรวดแต่ละขนาด ต้องมีหน้าหนึ่งแตกเพราะการย่อยไม่น้อยกว่า 75 % โดยน้ำหนัก