บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและผลงานการศึกษาในอดีต

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในประเทศสหรัฐอเมริกาช่วงระหว่างปี ค.ศ.1940 ถึง 1990 เป็นเวลากว่า 50 ปี การออกแบบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อนทั้งหมดจะใช้วิธีของมาร์แชลหรือวิธีของฮวีม จากการสำรวจในปี ค.ศ.1984 ประมาณร้อยละ 75 ของหน่วยงานทางหลวงของแต่ละรัฐใช้วิธีมาร์แชล ในขณะที่ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 25 ใช้วิธีของฮวีม และบางหน่วยงานใช้ทั้งสองวิธี จนกระทั่งในปี ค.ศ.1995 หน่วยงานทางหลวงของรัฐบางแห่งได้เริ่มเปลี่ยนมาใช้วิธีซูเปอร์เพฟในบางโครงการ และปัจจุบันหน่วยงานทางหลวงของรัฐทุกรัฐในประเทศสหรัฐอเมริกาได้หันมาใช้วิธีการออกแบบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อนตามแนวทางของซูเปอร์เพฟแล้ว

2.1.1 วิธีการบดอัดวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในวิธีมาร์แชล

การบดอัดวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในวิธีมาร์แชล จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Marshall Compactor ซึ่งใช้สำหรับบดอัดวัสดุผสม เพื่อให้ได้ก้อนตัวอย่างทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว(101.6 มิลลิเมตร) สูงประมาณ 2.5 นิ้ว(63.5 มิลลิเมตร) การบดอัดใช้วิธีปล่อยน้ำหนักกระแทกลงบนก้อนตัวอย่างด้วยจำนวนการบดอัดที่แน่นอน (35 หรือ 50 หรือ 75 ครั้งต่อด้าน) ซึ่งกำหนดตามระดับปริมาณการจราจรที่ต้องรองรับ เพราะที่แต่ละค่าจำนวนการบดอัดได้รับการเปรียบเสมือนเป็นการจำลองการบดอัดที่เกิดจากการจราจรจริง

ข้อดีในการใช้งานของวิธีการบดอัดแบบมาร์แชลคือ

- เครื่องมือที่ใช้มีราคาไม่แพงและสะดวกในการติดตั้ง จึงสามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพงานในการก่อสร้างได้

ข้อบกพร่องและขีดจำกัดในการใช้งานของวิธีการบดอัดแบบมาร์แชลคือ

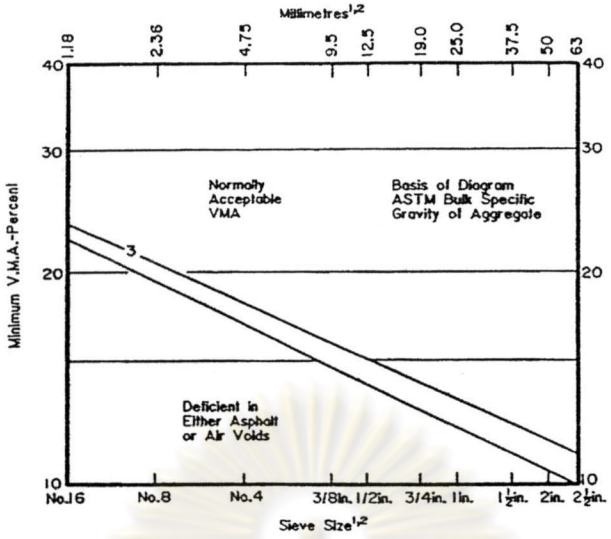
- การบดอัดโดยใช้การกระแทกของก้อนน้ำหนักบนก้อนตัวอย่างนั้นแตกต่างจากลักษณะการบดอัดผิวทางในสนามด้วยรถบดโดยสิ้นเชิง ส่งผลให้การออกแบบคลาดเคลื่อนได้
- ความสม่ำเสมอในการบดอัดค่อนข้างต่ำเนื่องจากใช้แรงงานคน จึงมีความคลาดเคลื่อนสูง
- มีขีดจำกัดในขนาดของ Mold ทำให้ไม่สามารถออกแบบวัสดุผสมโดยใช้วัสดุมวลรวมที่มีขนาดใหญ่ได้
- มีความแปรปรวนของผลการบดอัดค่อนข้างสูง
- การกระแทกอาจทำให้มีปริมาณ Fine Particle มากขึ้นเนื่องจากการแตกของ Aggregate

2.1.2 เกณฑ์การออกแบบของวิธีมาร์แชล

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การออกแบบของวิธีมาร์แชล

Marshall Method Mix Criteria	Traffic					
	Light		Medium		Heavy	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Compaction, No. of blows/side	35		50		75	
Stability, lb (N)	750(3333)	---	1200(5333)	---	1800(8000)	---
Flow 0.01 inches (0.25 mm)	8	18	8	16	8	14
Air Voids, %	3	5	3	5	3	5
Voids in Mineral Aggregate	รูปที่ 2.1					

ที่มา : Roberts et al. (1996)



[1]Standard Specification for *Wire Cloth Sieves for Testing Purposes*, ASTM Designation E11 (AASHTO Designation M92).
[2]For processed aggregate, the nominal maximum particle size is the largest sieve size listed in the applicable specification upon which any material is retained.
[3]Mixture in the 1% tolerance band shall be permitted only when experience indicates that the mixture will perform satisfactorily and when all other criteria are met.

รูปที่ 2.1 ปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่น้อยที่สุด

ที่มา : Roberts et al. (1996)

2.1.3 วิธีการบดอัดวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในวิธีซูเปอร์เพฟ

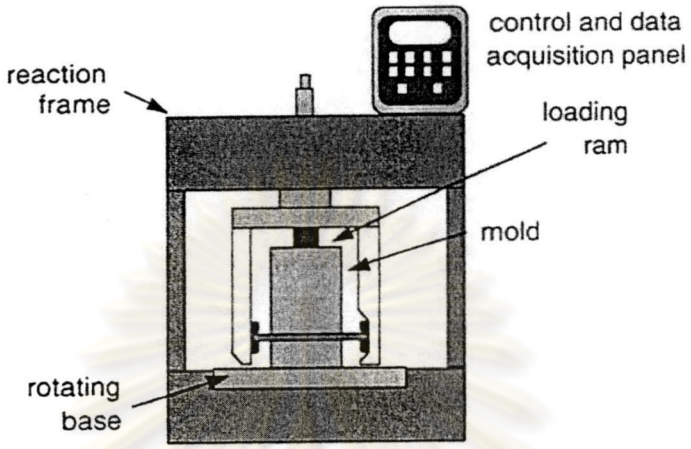
องค์ประกอบสำคัญของการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟคือเครื่อง Superpave Gyratory Compactor(SGC) ซึ่งใช้ในการบดอัดวัสดุผสม โดยสามารถใช้บดอัดวัสดุผสมเพื่อให้ได้ก้อนตัวอย่างได้ 2 ขนาดคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และ 150 มิลลิเมตร จำนวนรอบของการบดอัดขึ้นอยู่กับระดับการจราจรและอุณหภูมิอากาศสูงสุดเฉลี่ย วัสดุผสมที่ใช้รองรับปริมาณการจราจรและอุณหภูมิอากาศสูงๆจะมีความหนาแน่นสูง ดังนั้นการบดอัดในห้องปฏิบัติการควรจะสามารถบดอัดก้อนตัวอย่างให้มีความหนาแน่นสูงขึ้นได้ตามต้องการ ซึ่งการเพิ่มความหนาแน่นนี้ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนรอบของการบดอัด

ลักษณะของเครื่อง SGC

เครื่อง SGC เป็นเครื่องมือกลกึ่งอัตโนมัติที่สามารถควบคุมการให้น้ำหนักกดที่คงที่ มีลักษณะดังปรากฏในรูปที่ 2.2 องค์ประกอบหลักของเครื่อง SGC ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆคือ

- โครงหลักของเครื่องมือ(Reaction Frame) พร้อมด้วย Rotating Base และ Motor
- ระบบการควบคุมน้ำหนักบดอัดที่ประกอบด้วย Loading Ram และ Pressure Gauge

- ระบบการวัดความสูงก้อนตัวอย่างขณะทำการบดอัด และบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ
- แบบบรรจุตัวอย่างเพื่อทำการบดอัด(Mold) ขนาด 100 และ 150 มิลลิเมตร
- ระบบกำหนดระดับความเอียงของ Ram ส่วนบดอัดกับวัสดุขณะที่บดอัด



รูปที่ 2.2 ลักษณะและองค์ประกอบของเครื่องมือ SGC

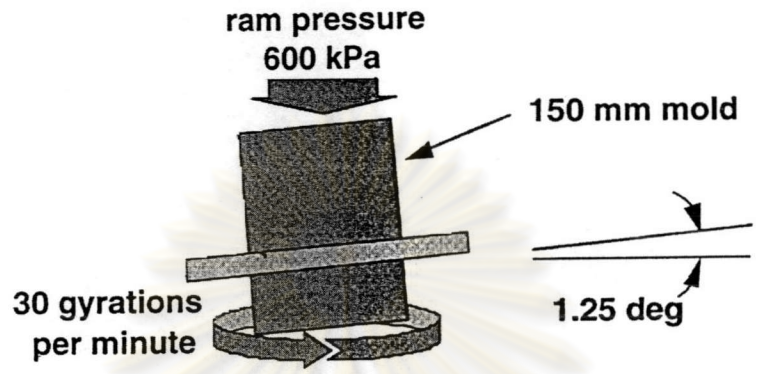
ที่มา : Asphalt Institute (1996)

กระบวนการทำงานของเครื่องมือในการบดอัด

ในการบดอัดกระบวนการบดอัดจะเริ่มขึ้น โดยนำวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่จะทำการบดอัดบรรจุลงใน Mold จากนั้นนำ Mold ดังกล่าวเข้าติดตั้งกับส่วนฐานรับก้อนตัวอย่างซึ่งส่วนฐานนี้จะหมุนในอัตรา 30 รอบต่อนาที และจะรองรับ Mold ไว้ขณะทำการบดอัด นอกจากนี้ที่ฐานจะมีขอบเพื่อล็อคเข้ากับ Bearing ที่ทำหน้าที่บังคับวัสดุผสมใน Mold ทำมุม 1.25 องศากับหัวของ Loading Ram ที่ควบคุมความดันกดบนวัสดุใน Mold ด้วยความดันคงที่ 0.6 เมกะปาสคาล(Mpa) เพื่อทำการบดอัดวัสดุในแต่ละรอบของการหมุนดังภาพแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นการลอกเลียนพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจากสภาพจริงในสนามที่ล้อเหล็กของรถบดอัดทำกับผิวถนน ขณะทำการบดอัดถนนในสนาม

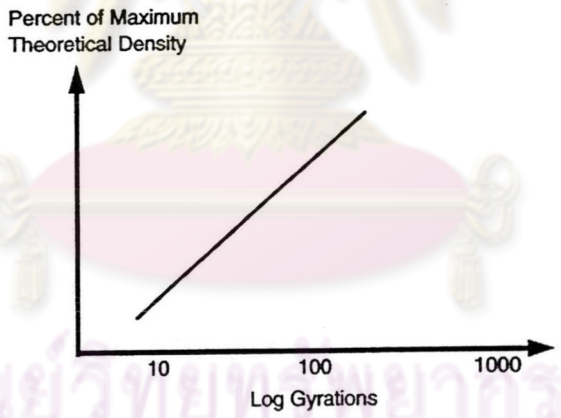
นอกจากนี้ในการบดอัดตัวอย่างวัสดุแต่ละรอบของการหมุน เครื่องมือ SGC ยังได้รับการติดตั้งเครื่องมือวัดที่ทำให้สามารถทราบความสูงของก้อนตัวอย่างในทุกๆรอบของการบดอัดอีกด้วย ซึ่งข้อมูลดังกล่าวทำให้เกิดประโยชน์เป็นอย่างมาก เพราะเมื่อทราบความสูงก้อนตัวอย่างในทุกรอบของการบดอัดประกอบกับข้อมูลอื่นที่ทราบอยู่แล้วก่อนหน้า เช่น มวลของวัสดุผสมที่บรรจุลงใน Mold เพื่อบดอัด และเส้นผ่านศูนย์กลางของ Mold ทำให้สามารถคำนวณเพื่อทราบความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างในทุกรอบของการบดอัด และสามารถได้รับกราฟความสัมพันธ์

ระหว่างความหนาแน่นสูงสุดของวัสดุที่ทำการบดอัดต่อจำนวนรอบของการบดอัด ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.4 ซึ่งจากกราฟลักษณะนี้สามารถทำให้ทราบถึงคุณสมบัติความแข็งแรงของโครงสร้างวัสดุมวลรวมในวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตได้อย่างชัดเจนในขณะทำการบดอัด อีกทั้งทำให้คาดการณ์ถึงความสามารถในการใช้งานในสนามของวัสดุนั้นได้อีกด้วย



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งที่ควบคุมในการบดอัดด้วยเครื่อง SGC

ที่มา : Asphalt Institute (1996)

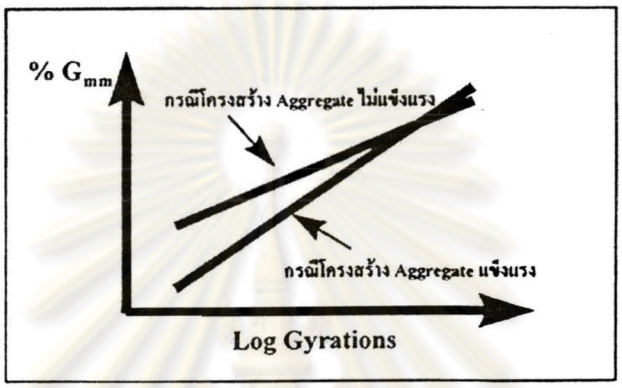


รูปที่ 2.4 ลักษณะทั่วไปของความสัมพันธ์ระหว่าง Max Density ของก้อนตัวอย่างต่อจำนวนรอบการบดอัด

ที่มา : Asphalt Institute (1996)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความสามารถที่จะได้รับข้อมูลที่มีความละเอียดในทุกรอบของการบดอัดนั้น ทำให้ผู้ออกแบบวัสดุผสมหรือผู้ควบคุมคุณภาพการก่อสร้างสามารถทราบพฤติกรรมของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่กำลังทำการออกแบบหรือควบคุมคุณภาพได้อย่างละเอียด เพื่อให้สามารถทำการแก้ไขปรับปรุงวัสดุผสมหากจำเป็นได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง นอกจากนี้ในการวิเคราะห์ผลจากการบดอัดหากจะพิจารณาถึงความแข็งแรงในการต้านทานการรับน้ำหนักของ

วัสดุผสมที่ทำการบดอัดแล้ว ผลจากการบดอัดด้วยเครื่อง SGC สามารถเปรียบเทียบบอกถึงความแข็งแรงของโครงสร้างวัสดุมวลรวมในวัสดุผสมได้อย่างรวดเร็ว และชัดเจนดังตัวอย่างกราฟในรูปที่ 2.5 ซึ่งหากพิจารณาจากรูปดังกล่าว จะพบว่าสำหรับกรณีที่แสดงว่าโครงสร้างวัสดุมวลรวมไม่แข็งแรงนั้น เมื่อได้รับการบดอัดด้วยจำนวนรอบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ก้อนตัวอย่างมีการยุบตัวไปอย่างมาก ส่งผลทำให้ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างขึ้นสูงอย่างรวดเร็วมาก ซึ่งวัสดุผสมในลักษณะนี้ไม่เป็นที่ต้องการในการใช้งาน เนื่องจากเป็นการบ่งบอกถึงว่าวัสดุผสมดังกล่าวนั้นไม่มีความคงตัว(Stable) ในการรับน้ำหนักและมีความยากลำบากในการบดอัดในสนาม



รูปที่ 2.5 ลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ที่แสดงความแตกต่างระหว่างวัสดุผสมที่มีโครงสร้าง Aggregate ที่แข็งแรงกับวัสดุผสมที่มีโครงสร้าง Aggregate ไม่แข็งแรง ซึ่งสามารถทราบได้ขณะทำการบดอัด

ดังนั้นในการออกแบบและการควบคุมคุณภาพนั้น เพื่อให้วัสดุผสมมีคุณภาพที่ดี ในข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟจึงกำหนดขอบเขตควบคุมระดับความหนาแน่นที่เกิดขึ้นจากการบดอัดที่จำนวนรอบการบดอัดต่างกัน 3 จุดด้วยกันคือ

- จุดที่ 1 : Initial Number of Gyration($N_{initial}$)
- จุดที่ 2 : Design Number of Gyration(N_{design})
- จุดที่ 3 : Maximum Number of Gyration($N_{maximum}$)

โดยที่ค่าจำนวนรอบ(N) ที่จุดต่างๆเหล่านี้ ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟได้กำหนดแนะนำไว้โดยแปรตามสภาพของปริมาณจราจรตลอดอายุการใช้งานและอุณหภูมิที่ใช้ในการออกแบบถนนที่กำลังออกแบบวัสดุผสมนั้น โดยมีการแนะนำไว้ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 จำนวนรอบการบดอัด $N_{initial}$, N_{design} และ $N_{maximum}$ ที่แนะนำโดยซูเปอร์เพฟ โดยแปรตามปริมาณจราจรตลอดอายุการใช้งานกับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่เฉลี่ยจาก 7 วันที่ติดกันของอุณหภูมิอากาศบริเวณที่จะทำการก่อสร้างถนน

Design ESALs (millions)	Average Design High Air Temperature											
	<39 °C			39-40 °C			41-42 °C			43-44 °C		
	N_{ini}	N_{des}	N_{max}	N_{ini}	N_{des}	N_{max}	N_{ini}	N_{des}	N_{max}	N_{ini}	N_{des}	N_{max}
<0.3	7	68	104	7	74	114	7	78	121	7	82	127
0.3-1	7	76	117	7	83	129	7	88	138	8	93	146
1-3	7	86	134	8	95	150	8	100	158	8	105	167
3-10	8	96	152	8	106	169	8	113	181	9	119	192
10-30	8	109	174	9	121	195	9	128	208	9	135	220
30-100	9	126	204	9	139	228	9	146	240	10	153	253
>100	9	143	235	10	158	262	10	165	275	10	172	288

ที่มา : Asphalt Institute (1996)

ซึ่งนอกจากนี้ในตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าการควบคุมทั้ง 3 จุดนั้นมีเหตุผลที่ต้องการที่จะให้ได้วัสดุผสมที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถอธิบายได้คือ

1. การควบคุมจุดที่หนึ่ง เมื่อรอบการบดอัดมาถึงจำนวนรอบ $N_{initial}$ ซึ่งเป็นการบดอัดในขั้นเริ่มต้นเพียงไม่เกิน 10 รอบ ดังนั้นหากวัสดุผสมมีสัดส่วนที่เหมาะสมและมีความแข็งแรงต้านทานการรับน้ำหนักในการบดอัดได้ดีแล้ว หลังจากได้รับการบดอัดเพียงแค่ $N_{initial}$ จะไม่ควรมีค่าความหนาแน่นสูงเกินไป ซึ่งในกรณีนี้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟได้กำหนดไว้ที่ไม่เกินร้อยละ 89 ของ Maximum Theoretical Specific Gravity เพื่อคัดวัสดุผสมที่ไม่มีความคงตัวออกไป

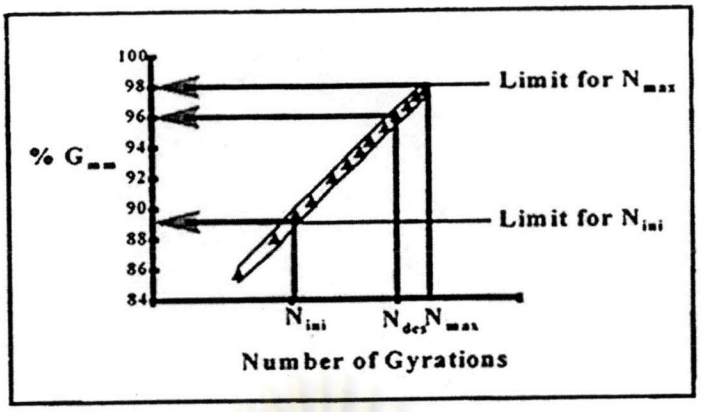
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าระดับการควบคุมความหนาแน่นของวัสดุผสมที่จำนวนรอบบดอัดที่ควบคุม

ระดับการบดอัด (จำนวนรอบที่บดอัด)	ระดับความหนาแน่นที่ควบคุม (คิดเป็นร้อยละของ Maximum Theoretical Specific Gravity)
$N_{initial}$	< 89
N_{design}	96
$N_{maximum}$	< 98

2. การควบคุมจุดที่สอง เมื่อรอบการบดอัดมาถึงจำนวนรอบ N_{design} ที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นจุดที่คาดว่าการบดอัดได้ผ่านมาถึงจุดที่เหมาะสมแก่การใช้งานเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรตามที่ออกแบบ ซึ่งหากวัสดุผสมมีสัดส่วนที่เหมาะสมและมีความแข็งแรงต้านทานการรับน้ำหนักได้ดีแล้ว หลังจากได้รับการบดอัดถึงจุด N_{design} ควรที่จะมีค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมคงสภาพความยืดหยุ่นไว้ได้ ซึ่งโดยปกติต้องการให้มีปริมาณช่องว่างอากาศ(Air Void) อยู่ที่ร้อยละ 4 โดยสำหรับในกรณีนี้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ จึงกำหนดไว้ที่ร้อยละ 96 ของ Maximum Theoretical Specific Gravity เพื่อคัดวัสดุผสมที่ไม่เหมาะสมออกไป

3. การควบคุมจุดที่สาม เมื่อรอบการบดอัดมาถึงจำนวนรอบ N_{max} ที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นจุดที่คาดว่าการบดอัดได้ผ่านมาถึงจุดสูงสุดที่วัสดุผสมจะสามารถรักษาสภาพความยืดหยุ่นในการรองรับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรตามที่ออกแบบไว้ได้ ซึ่งหากวัสดุผสมมีสัดส่วนที่เหมาะสมและมีความแข็งแรงต้านทานการรับน้ำหนักได้ดีแล้ว หลังจากได้รับการบดอัดถึงจุด N_{max} ควรที่จะมีค่าความหนาแน่นที่ยังคงเหมาะสมคงสภาพความยืดหยุ่นไว้ได้ ซึ่งโดยปกติกำหนดปริมาณช่องว่างอากาศ(Air Void) อยู่ที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 ด้วยเหตุผลที่เข้าใจได้ว่าหากวัสดุผสมมีปริมาณ Air Void น้อยกว่าร้อยละ 2 แล้ว วัสดุผสมที่บดอัดแล้วจะไม่มีสภาพความยืดหยุ่นโดยที่หากได้รับน้ำหนักกระทำแล้วอาจทำให้เกิดการยุบตัวอย่างถาวร(Plastic Deformation) ขึ้นได้ โดยสำหรับในกรณีนี้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ จึงกำหนดไว้ที่ไม่เกินร้อยละ 98 ของ Maximum Theoretical Specific Gravity เพื่อคัดวัสดุผสมที่ไม่เหมาะสมออกไป

ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันในกลุ่มผู้เชี่ยวชาญว่าหากผลการบดอัดของวัสดุผสมโดยใช้เครื่องมือ SGC ปรากฏว่าผ่านจุดควบคุมทุกจุดที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ โดยมีลักษณะของกราฟดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.6 แล้ว จากผลการวิจัยแสดงว่าวัสดุผสมนั้นมีความเหมาะสมทนทานต่อการรับน้ำหนักบรรทุกจากปริมาณจราจรในสนามได้เป็นอย่างดี (ชยธันว์ พรหมศร, 2542 : 91-100)



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของกราฟผลการบดอัดของวัสดุผสมที่เหมาะสมถูกต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ

2.1.4 เกณฑ์การออกแบบของวิธีซูเปอร์เพฟ

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดสำหรับปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม(VMA)

Nominal Maximum Aggregate Size, mm	Minimum VMA, percent
9.5	15.0
12.5	14.0
19.0	13.0
25.0	12.0
37.5	11.0

ที่มา : Asphalt Institute (1996)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 ข้อกำหนดสำหรับปริมาณช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์(VFA)

Traffic, millions ESALs	Design VFA, percent
<0.3	70-80
<1	65-78
<3	65-78
<10	65-75
<30	65-75
<100	65-75
≥100	65-75

ที่มา : Asphalt Institute (1996)

2.1.5 คุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ช่องว่างอากาศ(Air Voids , V_a) ของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ช่องว่างเล็กๆที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่เคลือบด้วยแอสฟัลต์ สำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้รับการบดอัดแล้วจะต้องมีปริมาณช่องว่างอากาศที่เพียงพอ เพราะว่าหลังจากที่เปิดการจราจรแล้วยานพาหนะที่แล่นบนผิวทางจะทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแน่นขึ้นกว่าเดิม จึงมีปริมาณช่องว่างอากาศน้อยลง ดังนั้นถ้าปริมาณช่องว่างอากาศที่ก่อสร้างเสร็จใหม่ไม่เพียงพอก็จะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าของถนน นอกจากนั้นช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนอีกด้วย สำหรับผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีปริมาณช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 3 ถึง 5 ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหนักของยานพาหนะที่แล่นบนผิวทาง ส่วนผิวทางชั้นล่างๆ อาจออกแบบให้มีปริมาณช่องว่างได้มากขนาดร้อยละ 4 ถึง 7 เป็นต้น

ปริมาณช่องว่างอากาศมีผลต่อความทนทานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ถ้าปริมาณช่องว่างอากาศน้อย น้ำและอากาศมีโอกาสซึมผ่านเข้าไปทำลายการยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลต์ได้น้อย ทำให้ผิวทางมีอายุยาวนาน อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณช่องว่างอากาศมีน้อยเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าของถนนได้

ความหนาแน่นและปริมาณช่องว่างอากาศมีความสัมพันธ์กัน ถ้าความหนาแน่นมากปริมาณช่องว่างอากาศจะมีค่าน้อยและเป็นจริงในทางกลับกัน การกำหนดค่าความหนาแน่นต่ำ

สุดของผิวทางจะต้องคำนึงถึงปริมาณช่องว่างอากาศด้วย โดยปกติผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดเสร็จใหม่ๆมักจะกำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุดให้มีปริมาณช่องว่างอากาศน้อยกว่าร้อยละ 8

ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม(Voids in the Mineral Aggregate , VMA) หมายถึง ปริมาณช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ซึ่งรวมทั้งช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์(Voids Filled with Asphalt หรือ VFA) ด้วย

ดังนั้นช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวมจึงเป็นปริมาณช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์รวมกับปริมาณช่องว่างอากาศ ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า VMA = VFA+AV การออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากัน แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA สูงกว่าจะมีความทนทานต่อการใช้งานนานกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA ต่ำกว่า สามารถอธิบายได้โดยอาศัยหลักความจริงที่ว่า มวลรวมที่มีค่า VMA สูงย่อมมีปริมาณช่องว่างสำหรับใส่แอสฟัลต์มากทำให้ได้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่ห่อหุ้มผิวอนุภาคของมวลรวมหนากว่า จึงทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความทนทานและมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า

การออกแบบวัสดุผสมที่มีค่า VMA น้อยกว่าข้อกำหนด ทำให้ใช้แอสฟัลต์ผสมน้อยเป็นการประหยัดแต่ไม่ควรกระทำ เพราะจะทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีความทนทานลดลง

ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์(Voids Filled with Asphalt , VFA) คือ ปริมาณช่องว่างซึ่งถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ประสิทธิผล(Effective Asphalt) แสดงอยู่ในรูปร้อยละของอัตราส่วนระหว่าง (VMA-V_a) กับ VMA

ค่า VFA จะมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณช่องว่างอากาศ หากปริมาณช่องว่างอากาศมีค่าเป็นศูนย์ VFA จะมีค่าเป็นร้อยละ 100 ซึ่งวัสดุผสมที่เมื่อนำไปก่อสร้างเสร็จใหม่ๆมักจะมีค่า VFA อยู่ระหว่างร้อยละ 50 ถึง 70 และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อวัสดุผสมมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นหลังจากรองรับการจราจร แต่ถ้าหาก VFA มีค่ามากกว่าร้อยละ 80 ถึง 85 วัสดุผสมจะไม่มีเสถียรภาพและเกิดการยุบตัวได้

2.1.6 คุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

เสถียรภาพ(Stability) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ความสามารถในการรับน้ำหนักโดยไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่าง

ความมีเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับความเสียดทานภายใน และแรงยึดประสานระหว่างอนุภาคของมวลรวม ความเสียดทานเป็นผลมาจากคุณสมบัติของมวลรวม ซึ่งได้แก่รูปร่างของอนุภาคของมวลรวม ลักษณะความเรียบ หยาบ หรือขรุขระของผิวอนุภาคของมวลรวม ส่วนแรงยึดเกาะเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแอสฟัลต์ในการยึดเกาะกับอนุภาคของมวลรวมให้ติดกันได้ดีเพียงใด ผลรวมของความเสียดทาน และแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคของมวลรวมจะช่วยป้องกันไม่ให้อนุภาคของมวลรวมเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อมีน้ำหนักมากระทำ

โดยทั่วไปแล้วมวลรวมที่มีรูปร่างของอนุภาคเป็นเม็ดเหลี่ยม ผิวหยาบขรุขระ จะให้ค่าเสถียรภาพสูง แรงยึดเกาะจะมีค่ามากถ้าแอสฟัลต์ที่ใช้มีความหนืดสูงเมื่อแอสฟัลต์มีอุณหภูมิต่ำ การเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ในวัสดุผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์จนถึงค่าหนึ่งจะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบอนุภาคของมวลรวมหนาเกินไป เป็นผลให้ความเสียดทานระหว่างอนุภาคของมวลรวมมีค่าลดลง จึงทำให้เสถียรภาพของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตลดลงด้วย

ในการออกแบบวัสดุผสมจะต้องออกแบบให้เสถียรภาพมีค่าสูงพอที่จะรับน้ำหนักการจราจรได้ แต่ควรคำนึงไว้ว่าเสถียรภาพที่สูงมากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งเกินไป ขาดความยืดหยุ่น ซึ่งอาจทำให้ผิวทางเสียหายได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้แอสฟัลต์คอนกรีตปูลงบนพื้นทางหรือผิวทางเดิมที่มีการแอ่นตัวสูง

สาเหตุที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีเสถียรภาพต่ำ ได้แก่

1. ใช้แอสฟัลต์ในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้เกิดเป็นคลื่นลูกระนาดหรือเกิดร่องล้อ หรือทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าถนน
2. ใช้ทรายที่มีอนุภาคขนาดกลางมากเกินไปทำให้บดอัดยาก และเมื่อบดอัดเสร็จใหม่จะมีลักษณะเคลื่อนตัวได้ง่าย ไม่อยู่ตัว

3. ใช้มวลรวมที่มีอนุภาครูปร่างกลมผิวเรียบทำให้ขยับตัวได้ง่ายเป็นสาเหตุให้เกิดร่องล้อ

การไหล(Flow) คือ การเสียรูปในแนวดิ่ง(Vertical Deformation) ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ในขณะทำการทดสอบเพื่อหาค่าเสถียรภาพตั้งแต่เริ่มให้น้ำหนักกระทำจนกระทั่งค่าเสถียรภาพเริ่มมีค่าลดลง มีหน่วยเป็น 0.01 นิ้ว

วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่าการไหลสูงจะมีคุณสมบัติเป็นวัสดุผสมแบบพลาสติก (Plastic Mix) ซึ่งจะเกิดปัญหาการยุบตัวถาวร(Permanent Deformation) เมื่อรองรับการจราจร และวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่าการไหลต่ำจะมีปริมาณช่องว่างมากกว่าปกติ ซึ่งจะทำให้วัสดุผสมไม่มีความทนทาน เปราะและแตกหักง่ายในช่วงอายุการใช้งาน

วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับถนนที่มีการจราจรหนาแน่น(บดอัดเป็นจำนวน 75 ครั้งต่อด้าน) ควรมีค่าการไหลอยู่ระหว่าง 8 ถึง 16 และวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับถนนที่มีการจราจรเบาบางถึงปานกลาง(บดอัดเป็นจำนวน 50 ครั้งต่อด้าน) ค่าการไหลอาจจะมีค่ามากกว่า 20 ก็ได้

ความเครียดสะสม(Accumulated Strain , ε_p) คือ ผลบวกสะสมของความเครียดที่เกิดขึ้นภายในวัสดุ เมื่อวัสดุนั้นได้รับแรงกระทำในลักษณะกระทำซ้ำ

ความเครียดสะสม(ε_p) สำหรับแต่ละรอบที่ได้รับแรงกระทำ สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta_h}{h_0}$$

เมื่อ Δ_h = การเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามแนวแกนทั้งหมดของตัวอย่างตั้งแต่ได้รับแรงกระทำครั้งแรก(หน่วยมิลลิเมตร)

h_0 = ความสูงเริ่มต้นของตัวอย่าง(หน่วยมิลลิเมตร)

2.2 ผลงานการศึกษาในอดีต

1. D'Angelo et al. (1995) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้เครื่อง Superpave Gyratory Compactor(SGC) กับ Marshall Compactor ในการนำไปใช้ควบคุมคุณภาพของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในสนาม โดยได้สรุปผลการศึกษาว่าการใช้เครื่อง SGC บดอัดวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต จะได้ค่าปริมาณช่องว่างในวัสดุผสมทั้งหมด(VTM) ใกล้เคียงกับการใช้ Marshall Compactor ซึ่งถ้าหากพิจารณาถึงค่า VTM เพียงอย่างเดียวอาจเห็นว่าเครื่อง SGC กับ Marshall Compactor สามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพแทนกันได้ แต่หากพิจารณาถึงค่าปริมาณช่องว่างในมวลรวม(VMA) ที่มีความสำคัญมากในการออกแบบวัสดุผสมแล้วจะเห็นได้ว่ามีค่าแตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือทั้งสองไม่สามารถนำมาใช้แทนกันได้

โครงสร้างมวลรวมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการบดอัดด้วยเครื่อง SGC จะแตกต่างอย่างชัดเจนกับโครงสร้างมวลรวมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการบดอัดด้วย Marshall Compactor ความแตกต่างนี้ดูได้จากการเปรียบเทียบค่า VMA ของก้อนตัวอย่างทั้งสอง ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจนแสดงให้เห็นว่าเครื่อง SGC และ Marshall Compactor ไม่สามารถนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพแทนกันได้ โดยหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างทางหลวงในประเทศสหรัฐอเมริกา เริ่มหันมาใช้ เครื่อง SGC ในการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต และนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพแอสฟัลต์คอนกรีตในสนามอีกด้วย

2. Bahia et al. (1998) ได้ทำการศึกษาในหัวข้อเรื่อง "Optimization of Constructibility and Resistance to Traffic : A New Design Approach for HMA Using the Superpave Compactor" ซึ่งการศึกษานี้เป็นความพยายามที่จะหามุมมองใหม่ๆในวิธีซูเปอร์เพฟ โดยใช้ผลที่ได้จากเครื่อง Superpave Gyratory Compactor(SGC) ไปใช้ในการแสดงลักษณะของความหนาแน่นของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่เกิดจากการก่อสร้าง และที่เกิดจากการรองรับการจราจร โดย Wisconsin DOT ได้ใช้มวลรวมทั้งหมด 6 ขนาดคละมาใช้ในการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งแต่ละขนาดคละยังแบ่งเป็นขนาดคละที่ประกอบด้วยปริมาณทรายธรรมชาติมากและน้อยมาเป็นตัวแทนของมวลรวมทั้งหมด และขนาดคละที่ใช้อยู่ในขอบเขตของขนาดคละตามวิธีซูเปอร์เพฟ การออกแบบวัสดุผสมอ้างอิงตามมาตรฐาน AASHTO MP2 และใช้ข้อมูลสภาพแวดล้อมของรัฐ Wisconsin ในการออกแบบ ซึ่งในการศึกษานี้ได้แบ่ง Densification Curve ออกเป็น

สองส่วนคือ ส่วนที่แสดงถึงความต้องการในการบดอัดที่ต้องใช้ในการก่อสร้างกับส่วนที่แสดงถึงลักษณะของความหนาแน่นที่เกิดจากการจราจร

ในการศึกษานี้ได้มีการนำแนวความคิดเรื่อง Compaction Energy Index(CEI) มาใช้ในการอธิบายว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างเป็นฟังก์ชันกับจำนวนรอบในการบดอัด ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงถึงลักษณะของความหนาแน่นที่เกิดขึ้น โดยค่า Compaction Energy Index(CEI) และค่า Traffic Densification Index(TDI) จะนำมาเป็นค่าที่ใช้แสดงประสิทธิภาพในการก่อสร้างและการใช้งานของวัสดุผสมตามลำดับ โดยผลของการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

- จากการทบทวนกลไกในการบดอัดวัสดุผสมของเครื่อง SGC ทำให้สามารถนำ Densification Curve ที่ได้จากเครื่อง SGC มาคำนวณหาค่า CEI และ TDI ได้ ซึ่งค่าทั้งสองเป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพของวัสดุผสมในขณะทำการก่อสร้างและในการใช้งานตามลำดับ
- ค่า CEI และ TDI ถูกนำมาใช้ในการหาประสิทธิภาพของวัสดุผสมในขณะก่อสร้างและในการใช้งานตามลำดับ การควบคุมค่าเหล่านี้คาดว่าจะทำให้ได้วัสดุผสมที่มีคุณภาพเหมาะสมกับการนำไปใช้ก่อสร้างและการใช้งานได้ดี
- ค่า CEI และ TDI ที่ได้จากขนาดคละทั้ง 12 ขนาดคละในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าขนาดคละที่ละเอียดซึ่งอยู่เหนือหรือผ่านเข้าไปในพื้นที่ถูกจำกัด(Restricted Zone) จะใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยในการบดอัดเพื่อให้วัสดุผสมมีปริมาณช่องว่างอากาศร้อยละ 8 ซึ่งวัสดุผสมเหล่านี้จะมีความต้านทานต่อการแน่นตัวสูงเมื่อมีปริมาณช่องว่างอากาศอยู่ระหว่างร้อยละ 8 ถึงร้อยละ 4 และยังพบว่าวัสดุผสมละเอียดสามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างได้ดีและมีประสิทธิภาพในการใช้งานที่ดีอีกด้วย
- มีการนำสมมติฐานในเรื่องการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุดสัมผัส(Contact Points) ซึ่งเกิดจากการเพิ่มมวลรวมละเอียดเข้าไปในวัสดุผสมมาใช้ในการอธิบายพฤติกรรมของวัสดุผสมชนิดละเอียด
- วัสดุผสมที่มีปริมาณทรายธรรมชาติมากๆ มีความอ่อนไหว(Sensitivity) ต่อปริมาณแอสฟัลต์ต่ำกว่าวัสดุผสมอื่น ซึ่งวัสดุผสมที่มีปริมาณทรายธรรมชาติมากจะมีอัตราการแน่นตัว(Densification Rates) ใกล้เคียงกันหรือมากกว่าเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับวัสดุผสมที่มีปริมาณทรายจากการผลิตในปริมาณมาก และมีค่า CEI และ TDI ต่ำเช่นเดียวกับวัสดุผสมที่มีปริมาณทรายจากการผลิต และจากกราฟรูปตัว S จะเห็นได้ว่าวัสดุผสมหยาบที่มีปริมาณทรายธรรมชาติต่ำจะมีความอ่อนไหวต่อการ

เปลี่ยนแปลงปริมาณแอสฟัลต์สูง และจากผลของการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าเมื่อนำทรายที่มีรูปร่างกลมมาใช้วัสดุผสมที่ได้ก็ยังคงมีประสิทธิภาพที่ดี

- ผลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ควรมีการปรับปรุงแก้ไขวิธีการออกแบบวัสดุผสมของซูเปอร์เพฟ โดยการนำเอาค่า CEI และ TDI มาใช้แทนค่า $\%G_{mm}$ ที่ $N_{initial}$, N_{design} และ $N_{maximum}$ ที่ใช้อยู่

3. Brown and Mallick (1998) ได้ทำการศึกษาเพื่อทบทวนค่า Design Number of Gyrations(N_{design}) ที่ใช้ในการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตามวิธีซูเปอร์เพฟ โดยทำการเก็บวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่เตรียมขึ้นเพื่อใช้ในโครงการก่อสร้างทางเป็นจำนวนทั้งหมด 6 แห่งในประเทศสหรัฐอเมริกามาทำการบดอัดด้วยเครื่อง Superpave Gyratory Compactor (SGC) และทำการเก็บวัสดุมวลรวมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในโครงการก่อสร้างทั้ง 6 แห่งมาด้วยเพื่อใช้สำหรับเตรียมวัสดุผสมขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ แล้วนำมาบดอัดด้วยเครื่อง SGC เช่นเดียวกัน โดยนำผลที่ได้จากการบดอัดวัสดุผสมทั้งสองแบบมาใช้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของการบดอัดกับความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ได้ จากนั้นได้ทำการเจาะเก็บแท่งตัวอย่างจากถนนทุก 1 ปีมาหาความหนาแน่นกับปริมาณการจราจรสะสมที่เวลาต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรกับความหนาแน่นที่เกิดขึ้น เมื่อได้ความสัมพันธ์ทั้งสองส่วนดังกล่าวแล้ว จึงนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง N_{design} กับปริมาณการจราจรสะสมได้ นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการบดอัดด้วยเครื่อง SGC กับที่ได้จากการบดอัดด้วย Marshall Hammer อีกด้วย ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

- ในกรณีของก้อนตัวอย่างที่บดอัดด้วยเครื่อง SGC ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดวัสดุผสมที่เตรียมขึ้นใหม่ในห้องปฏิบัติการ จะมีค่ามากกว่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดวัสดุผสมที่เก็บมาจากสนามแล้วนำมาให้ความร้อนใหม่ประมาณร้อยละ 1 ของ Maximum Theoretical Density ที่ระดับปริมาณการจราจรเดียวกัน โดยความแตกต่างนี้จะมีค่าน้อยลงเมื่อจำนวนรอบของการบดอัดเพิ่มขึ้น
- ค่า N_{design} ที่ได้จากการศึกษามีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ในวิธีซูเปอร์เพฟประมาณ 30 รอบที่ระดับปริมาณการจราจร 1×10^6 ESALs โดยค่าที่กำหนดไว้ในวิธีซูเปอร์เพฟคือ 76 รอบ แต่ค่าที่ได้จากการศึกษาเท่ากับ 46 รอบ(สำหรับอุณหภูมิอากาศสูงสุดน้อยกว่า 39 องศาเซลเซียส)

- ควรมีการทบทวนเพื่อหาค่า N_{design} ที่ใช้อยู่เสียใหม่ ซึ่งจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าควรใช้ค่า N_{design} เท่ากับ 46 รอบสำหรับการออกแบบวัสดุผสมเพื่อรองรับการจราจรขนาด 1×10^6 ESALs(สำหรับอุณหภูมิอากาศสูงสุดน้อยกว่า 39 องศาเซลเซียส)
- การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดด้วย Marshall Hammer กับเครื่อง SGC แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่บดอัดด้วยเครื่อง SGC จะมีค่าสูงกว่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่บดอัดโดย Marshall Hammer ประมาณร้อยละ 1.5 ของ Maximum Theoretical Density

4. Habib et al. (1998) ได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟและวิธีมาร์แชล สำหรับถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำรวมทั้งไหล่ทางโดยใช้มวลรวมในท้องถิ่น ซึ่งได้ทำการทดลองที่ถนน Kansas Route 177 ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของรัฐ Kansas มวลรวมในท้องถิ่นประกอบด้วย หินปูน ทรายแม่น้ำชนิดหยาบ ทรายแม่น้ำชนิดละเอียด นำมาผสมเป็นวัสดุผสมที่แตกต่างกัน 5 วัสดุผสม โดยที่แต่ละวัสดุผสมมีอัตราส่วนระหว่างทรายแม่น้ำชนิดหยาบและทรายแม่น้ำชนิดละเอียดแตกต่างกัน ตัวอย่างของวัสดุผสมทั้งหมดได้ทำการบดอัดด้วยเครื่อง Superpave Gyratory Compactor(SGC) ตามจำนวนรอบของการบดอัดที่กำหนดไว้ และยังได้ทำการบดอัดวัสดุผสมด้วย Marshall Hammer เป็นจำนวน 50 ครั้งต่อด้านอีกด้วย โดยก่อนทำการบดอัดแต่ละวัสดุผสมจะทำการวัด Bulk Density และ Maximum Specific Gravity ไว้ก่อน ซึ่งจากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า

- การออกแบบวัสดุผสมโดยวิธีซูเปอร์เพฟ สำหรับถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำและไหล่ทางจะใช้ปริมาณแอสฟัลต์ต่ำกว่าการออกแบบวัสดุผสมโดยวิธีมาร์แชล
- หากปริมาณทรายแม่น้ำชนิดหยาบในวัสดุผสมเพิ่มขึ้นจะต้องใช้ปริมาณแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นด้วย
- ทรายแม่น้ำสามารถนำมาใช้ได้เทียบเท่ากับมวลรวมละเอียดในการออกแบบวัสดุผสมโดยวิธีซูเปอร์เพฟสำหรับถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำและไหล่ทาง อย่างไรก็ตามปริมาณทรายแม่น้ำชนิดหยาบควรมีค่าน้อยที่สุดเพราะทำให้ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมมีค่ามากขึ้น และมีผลทำให้โครงสร้างของมวลรวมในวัสดุผสมมีความแข็งแรงน้อยลง
- ค่า N_{des} ที่ต่ำลงมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้สำหรับวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ออกแบบโดยวิธีซูเปอร์เพฟ

- ผลที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟกับวิธีมาร์แชลที่ปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากัน(ร้อยละ 4) พบว่าค่า VMA และ VFA ที่ได้จากวิธีซูเปอร์เพฟจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากวิธีมาร์แชล

5. Collins et al. (1997) ได้ทำการศึกษาในหัวข้อ "Effect of Aggregate Degradation on Specimens Compacted by Superpave Gyratory Compactor" โดยมีแนวความคิดที่ว่าการแตกหักของมวลรวมในขณะทำการบดอัดด้วย Superpave Gyratory Compactor(SGC) อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ขนาดคละของมวลรวมเปลี่ยนไป และอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงปริมาตรตามข้อกำหนดในการออกแบบส่วนผสมของซูเปอร์เพฟระดับ 1 โดยในการศึกษาได้ทำการประเมินถึงผลกระทบของการแตกหักของมวลรวมต่อขนาดคละของมวลรวมที่ออกแบบไว้และคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตหลังจากบดอัดด้วย SGC และ Astec Vibratory Compactor เพราะว่าวิธีการบดอัดด้วย Vibratory Compactor เป็นวิธีการบดอัดอีกแนวทางเลือกหนึ่งที่สามารถจำลองสภาพการบดอัดในสนามได้ ซึ่ง Vibratory Compactor ถูกพัฒนาโดย Astec Industries , Inc. จะถูกนำมาใช้เปรียบเทียบกับ SGC ส่วนมวลรวมที่ใช้ในการศึกษาจะใช้มวลรวมที่มีค่า Los Angeles Abrasion ทั้งสูงและต่ำ เพื่อประเมินผลของความทนทานของมวลรวมหรือความต้านทานต่อการสึกหรอที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดคละและคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสม โดยผลการเปรียบเทียบจากวิธีการบดอัดทั้งสองแบบสรุปได้ดังนี้

- การแตกหักของมวลรวมในวัสดุผสมเมื่อบดอัดด้วย Superpave Gyratory Compactorและ Astec Vibratory Compactor มีผลไม่แตกต่างกันมากนัก
- วัสดุผสมที่ประกอบด้วยมวลรวมที่มีการสึกหรอต่ำ จะมีขนาดคละที่ผ่านตามข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟได้มากกว่าวัสดุผสมที่ประกอบด้วยมวลรวมที่มีการสึกหรอสูง เพราะว่ามวลรวมที่มีการสึกหรอสูงจะแตกหักได้มากกว่าและมีขนาดคละเข้าใกล้พื้นที่ถูกจำกัด(Restricted Zone) ได้มากกว่ามวลรวมที่มีการสึกหรอต่ำ
- การเปลี่ยนแปลงของปริมาณวัสดุที่มีขนาด 0.075 มิลลิเมตร เนื่องจากการแตกหักของมวลรวมขณะทำการบดอัดจะไม่มีผลมากนักต่อค่า Dust Proportion
- เมื่อต้องการออกแบบวัสดุผสมโดยใช้มวลรวมที่มีการสึกหรอสูง ควรออกแบบให้ขนาดคละของมวลรวมอยู่ใต้พื้นที่ถูกจำกัด(Restricted Zone) เพื่อป้องกันผลกระทบจากการแตกหักของมวลรวมในขณะทำการบดอัด

6. Mallick et al. (1998) ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินผลกระทบของลักษณะขนาดคละของมวลรวมในวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีต่อคุณสมบัติเชิงปริมาตรของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดด้วย Superpave Gyratory Compactor(SGC) และหาค่าปรับแก้(Correction Factor) ของความหนาแน่นที่ระดับการบดอัดต่างๆ ซึ่งผลจากการศึกษาสรุปได้ว่า

- วัสดุมวลรวมที่ใช้ในการศึกษานี้ หากมีขนาดคละอยู่ใต้หรือเหนือพื้นที่ถูกจำกัด (Restricted Zone) เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต จะทำให้วัสดุผสมที่ได้มีค่า VMA สูงกว่าวัสดุผสมที่มีวัสดุมวลรวมที่มีขนาดคละผ่านเข้าไปในพื้นที่ถูกจำกัดเป็นส่วนผสม
- วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ประกอบด้วยวัสดุมวลรวมชนิด Crushed Aggregate จะมีค่า VMA สูงกว่าวัสดุผสมที่ประกอบด้วยวัสดุมวลรวมชนิด Partially Crushed Aggregate
- วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีขนาดคละอยู่ใต้พื้นที่ถูกจำกัดจะมีปริมาณช่องว่างที่ $N_{initial}$ สูงที่สุด และวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีขนาดคละอยู่เหนือพื้นที่ถูกจำกัดจะมีปริมาณช่องว่างที่ $N_{initial}$ ต่ำที่สุด
- วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมชนิด Crushed Aggregate หากมีขนาดคละอยู่เหนือพื้นที่ควบคุมจะมีปริมาณช่องว่างที่ $N_{maximum}$ สูงที่สุด และหากมีขนาดคละอยู่ใต้พื้นที่ควบคุมจะมีปริมาณช่องว่างที่ $N_{maximum}$ ต่ำที่สุด
- วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีทรายธรรมชาติเป็นองค์ประกอบอยู่ในส่วนผสม จะมีคุณสมบัติเชิงปริมาตรไม่ผ่านข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ แต่วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมชนิด Crushed Aggregate จะมีคุณสมบัติเชิงปริมาตรผ่านข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ เมื่อขนาดคละผ่านเข้าไปในพื้นที่ถูกจำกัดและอยู่ใต้พื้นที่ถูกจำกัด
- ขนาดคละที่ผ่านเข้าไปในพื้นที่ถูกจำกัดจะมีค่าปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม(Optimum Asphalt Content) และ VMA ต่ำที่สุด(เมื่อเทียบกับขนาดคละที่อยู่เหนือและใต้พื้นที่ถูกจำกัด)
- ในการศึกษานี้วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมชนิด Crushed Material ซึ่งมีขนาดคละผ่านเข้าไปในพื้นที่ถูกจำกัดจะมีคุณสมบัติเชิงปริมาตรดีกว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณทรายธรรมชาติร้อยละ 20 ซึ่งมีขนาดคละอยู่ใต้พื้นที่ถูกจำกัด
- ค่าปรับแก้ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ถูกบดอัดด้วย Superpave Gyratory Compactor มีค่าไม่คงที่ที่ทุกรอบการบดอัด โดยค่าปรับแก้สำหรับวัสดุผสม

แอสฟัลต์คอนกรีตชนิด Dense Graded และ Stone Mastic จะมีค่าลดลงและเริ่มคงที่ที่รอบการบดอัดสูงขึ้น วัสดุผสมที่ใช้วัสดุมวลรวมชนิดผิวหยาบจะมีค่าปริมาณช่องว่างอากาศจริงกับค่าปริมาณช่องว่างอากาศที่ได้จากการคำนวณกลับ(Back Calculated) แตกต่างกันมาก

- ที่รอบการบดอัดต่ำๆ ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างจริงจะมีค่ามากกว่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ทำนายได้จาก Densification Curve ซึ่งใช้ค่าปรับแก้ที่ $N_{maximum}$ และวัสดุผสมที่มีขนาดคละหยาบ(SMA Mix) จะมีความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นจริงกับความหนาแน่นที่ทำนายได้มากกว่าวัสดุผสมที่มีขนาดคละละเอียด(Dense Graded Mix)

7. Brown, Hanson, and Mallick (1996) ได้ทำการศึกษาในหัวข้อเรื่อง "Evaluation of Superpave Gyratory Compaction of Hot-Mix Asphalt" โดยอาศัยความสามารถของเครื่อง Superpave Gyratory Compactor(SGC) ที่สามารถบดอัดวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่เตรียมขึ้นในห้องทดลองให้มีช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 4 ได้ที่ทุกจำนวนรอบของการบดอัดที่ระบุไว้ในวิธีของซูปเปอร์เพฟ(ทุกระดับปริมาณการจราจรและอุณหภูมิสูงสุดของผิวทาง) ดังนั้นจึงนำความสามารถดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบความหนาแน่นในที่(In-Place Density) ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีอายุการใช้งาน 1 ปี และ 2 ปี กับความหนาแน่นของวัสดุผสมที่ได้จากการบดอัดด้วย SGC โดยในการศึกษาจะใช้วัสดุผสม 2 ชนิด คือ วัสดุผสมที่เตรียมขึ้นในห้องทดลอง (Laboratory-Prepared Specimens) และวัสดุผสมที่เก็บมาจากโรงงานผลิตแล้วนำมาให้ความร้อนใหม่(Reheated Plant-Produced Mixtures) โดยผลจากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

- ในการบดอัดวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งหมดเพื่อให้ได้ความหนาแน่นในที่เท่ากับ 1 ปี และ 2 ปี จะใช้จำนวนรอบในการบดอัดต่ำกว่า 100 รอบ
- ที่จำนวนรอบการบดอัดเท่ากัน ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดวัสดุผสมที่นำมาให้ความร้อนใหม่ จะแตกต่างกับความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดวัสดุผสมที่เตรียมขึ้นในห้องทดลองประมาณร้อยละ 1
- จำนวนรอบการบดอัดที่ N_{design} มีค่าสูงเกินไปที่ระดับปริมาณการจราจรต่ำ
- จำนวนรอบการบดอัดที่ $N_{initial}$ และ $N_{maximum}$ มีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในปัจจุบัน

8. Seward, Hinrichsen, and Ries (1996) ได้ทำการศึกษาในหัวข้อเรื่อง "Structural Analysis of Aggregate Blends Using Strategic Highway Research Program Gyratory

Compactor" เพื่อพิจารณาถึงความสามารถของเครื่อง SHRP Gyratory Compactor ในการวิเคราะห์หาคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆของวัสดุมวลรวม เช่น รูปร่าง ลักษณะผิว และขนาดคละ โดยศึกษาจากคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุมวลรวมเมื่อถูกบดอัดด้วย Gyratory Compactor และค่าเหลี่ยมมุมของวัสดุมวลรวมละเอียด

ในการศึกษาจะทำการแยกวัสดุมวลรวมขนาด 2.36 มิลลิเมตร(ตะแกรงเบอร์ 8) จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงปริมาตรหรือค่าเหลี่ยมมุม ก็จะสามารถทราบค่าคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆของวัสดุมวลรวมที่บ่งบอกถึงลักษณะทางโครงสร้างของวัสดุมวลรวมได้

ผลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า เมื่อทำการบดอัดวัสดุมวลรวมเพียงอย่างเดียวโดยไม่ต้องผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ก็จะสามารถทำนายค่าองศาของการขัดเหลี่ยมประสานกันของวัสดุมวลรวมหยาบ ค่า VMA และค่าปริมาณแอสฟัลต์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้ได้กับวัสดุมวลรวมทั้งแบบ Dense Graded Open Graded และ Stone Matrix

9. Hall, Dandu, and Gowda (1996) ได้ทำการศึกษาในหัวข้อเรื่อง "Effect of Specimen Size on Compaction and Volumetric Properties in Gyratory Compacted Hot-Mix Asphalt Concrete Specimens" ซึ่งเป็นการศึกษาถึงผลกระทบของขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการบดอัดที่มีต่อคุณสมบัติของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต โดยในการศึกษาจะใช้วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด Unmodified และ Rubber-Modified มาบดอัดด้วย Superpave Gyratory Compactor(SGC) เพื่อหาผลกระทบของขนาดตัวอย่างที่มีต่อการบดอัดและคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสม ซึ่งในการบดอัดจะใช้ Mold ขนาด 150 มิลลิเมตร โดยผลจากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า

- หากบดอัดวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งชนิด Unmodified และ Rubber-Modified โดยใช้วัสดุผสมขนาด 2000 กรัม ก้อนตัวอย่างที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากการใช้วัสดุผสมขนาด 3500, 5000, และ 6500 กรัม(ก้อนตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดวัสดุผสมขนาด 3500, 5000, และ 6500 กรัม จะมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน) และ Densification Curve ของก้อนตัวอย่างขนาดเล็ก(2000 กรัม) จะมีระยะ Offset ไปในทิศทางที่ความหนาแน่นต่ำกว่า Densification Curve ของก้อนตัวอย่างขนาดใหญ่(3500, 5000, และ 6500 กรัม)

- ระยะ Offset ระหว่าง Densification Curve ของก้อนตัวอย่างขนาดเล็กและขนาดใหญ่จะลดลงเมื่อปริมาณแอสฟัลต์เพิ่มขึ้น
- คุณสมบัติของก้อนตัวอย่างขนาดเล็กจะแตกต่างจากคุณสมบัติของก้อนตัวอย่างขนาดใหญ่ โดยในการออกแบบก้อนตัวอย่างขนาดเล็กจะมีค่าปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม ค่า VMA และค่า VFA สูงกว่าก้อนตัวอย่างขนาดใหญ่

10. Harman, Angelo, and Bukowski (1995) ได้นำแนวความคิดในการประยุกต์ใช้เครื่อง Superpave Gyratory Compactor(SGC) มาใช้ในการบริหารจัดการงานก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในสนาม ซึ่งในการศึกษาจะนำ Marshall Compactor มาใช้เปรียบเทียบกับ SGC ด้วย โดยผลจากการศึกษาสรุปได้ว่า SGC เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้ในกระบวนการออกแบบและควบคุมคุณภาพ เพื่อให้วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณสมบัติเชิงปริมาตรเป็นไปตามที่ต้องการได้ และเนื่องจากประสิทธิภาพดังกล่าวจึงสามารถนำมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ทางปริมาตรที่ต้องควบคุมและค่า Tolerance Limits ของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตได้ ซึ่งได้แก่ ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์(± ร้อยละ 0.4) ช่องว่างอากาศในส่วนผสมทั้งหมด (± ร้อยละ 1.2) ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม(± ร้อยละ 1) โดยค่า Tolerance Limits จะมีค่าแตกต่างกันไปตามการผลิตในแต่ละท้องถิ่นและภูมิภาคที่แตกต่างกัน

การใช้ Marshall Compactor แทนเครื่อง SGC ในกระบวนการออกแบบของซูเปอร์เพฟจะไม่สามารถตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุผสมได้ จึงไม่สามารถนำ Marshall Compactor มาใช้บริหารจัดการงานแอสฟัลต์คอนกรีตที่ออกแบบโดยวิธีซูเปอร์เพฟในสนามได้

11. Butcher (1998) ได้กล่าวถึงเครื่อง Servopac Gyratory Compactor ซึ่งเป็นเครื่องที่ผลิตขึ้นในประเทศออสเตรเลียไว้ว่า เป็นเครื่องที่ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย มีความน่าเชื่อถือและใช้งานง่าย นอกจากนั้นยังสามารถปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถพิจารณาถึงลักษณะในการบดอัดต่างๆ ซึ่งได้แก่ มุม แรงกดในแนวดิ่ง และการหมุน ที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุผสมได้ โดยผลจากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

- ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศที่ได้จากการบดอัดวัสดุผสมด้วยจำนวนรอบการบดอัดที่คงที่ หรือค่าจำนวนรอบการบดอัดที่ต้องใช้ในการบดอัดวัสดุผสมเพื่อให้มีค่าร้อยละของช่องว่างอากาศคงที่ จะมีการลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเมื่อมุมในการบดอัดเพิ่มขึ้น

- ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศที่ได้จากการบดอัดวัสดุผสมด้วยจำนวนรอบการบดอัดที่คงที่ จะมีการลดลงแบบเส้นตรงเมื่อแรงกดในแนวดิ่งเพิ่มขึ้น และค่าจำนวนรอบการบดอัดที่ต้องใช้ในการบดอัดวัสดุผสมเพื่อให้มีค่าร้อยละของช่องว่างอากาศคงที่จะมีการลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเมื่อแรงกดในแนวดิ่งเพิ่มขึ้น
- ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดจะมีการเพิ่มขึ้นแบบลอการิทึมเมื่อมุมในการบดอัดเพิ่มขึ้น แต่จะเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงเมื่อแรงกดในแนวดิ่งเพิ่มขึ้น

12. Roberts et al. (1996) ได้กล่าวถึงการบดอัดที่ทำในห้องทดลอง ซึ่งก็เพื่อจำลองความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อรองรับปริมาณจราจรได้จนถึงปริมาณที่ต้องการ แต่ทั้งวิธีมาร์แชล และฮวีม(Hveem) ไม่สามารถที่จะจำลองความหนาแน่นของถนนแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ หรือในสภาพการใช้งานจริงที่ปริมาณการจราจรมากกว่าหรือน้อยกว่าที่ประมาณไว้ได้ หากปริมาณการจราจรมีมากหรือน้อยกว่าที่ประมาณไว้ก็จะส่งผลให้ปริมาณช่องว่างอากาศ(Air Void) มีค่าที่น้อยกว่าหรือมากกว่าที่ประมาณไว้ในห้องทดลองได้ ปริมาณช่องว่างอากาศที่น้อยกว่าหรือมากกว่านี้จะไม่สามารถทราบได้เลยว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่ ในขณะที่การบดอัดด้วยเครื่อง Superpave Gyratory Compactor จะสามารถประมาณปริมาณช่องว่างอากาศที่มีอยู่ หรือสามารถจำลองความหนาแน่นที่เกิดขึ้นตั้งแต่ก่อสร้างเสร็จจนถึงเมื่อรองรับปริมาณการจราจรตามที่ต้องการหรือมากกว่าได้ เนื่องจากเครื่องมือดังกล่าวสามารถบดอัดจนได้ปริมาณช่องว่างอากาศที่น้อยกว่าวิธีมาร์แชลได้ ดังนั้นหากถนนจริงต้องรับปริมาณการจราจรที่น้อยกว่าที่ประมาณไว้ ก็จะสามารถทราบปริมาณช่องว่างอากาศได้ว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่

13. Anderson, Bosley, and Creamer (1995) กล่าวถึงการนำซูเปอร์เพฟไปใช้ในงานควบคุมคุณภาพในการก่อสร้าง ซึ่งจะเป็นการประเมินตั้งแต่การบดอัดด้วยเครื่อง Superpave Gyratory Compactor ในห้องปฏิบัติการและยังเปรียบเทียบกับวิธีมาร์แชล ผลที่ได้พบว่าอย่างน้อยที่สุดเครื่อง SGC เป็นเครื่องมือที่ใช้ควบคุมงานในสนามได้ดีพอกับเครื่องมือในวิธีของมาร์แชล แต่การบดอัดด้วยเครื่อง SGC นั้นจะช่วยให้ได้ก้อนตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันของแต่ละตัวอย่างลดน้อยลง หรือมีความแปรปรวนเกิดขึ้นกับก้อนตัวอย่างน้อยกว่า

14. Gowda et al. (1997) ได้ทำการศึกษาทบทวนวิธีการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟ ซึ่งในการศึกษาได้ทำการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นจำนวนทั้งสิ้น 8 ส่วนผสม โดยใช้วิธีซูเปอร์เพฟเพื่อใช้งานในรัฐ Arkansas แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้

ในวัสดุผสมแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ PG 64-22 (AC-30) และ PG 76-22 (PMAC-20) สำหรับปริมาณการจราจรออกแบบมากกว่า 100×10^6 ESALs และอุณหภูมิอากาศ 44 องศาเซลเซียส(N_{max} เท่ากับ 288 รอบ) ข้อมูลความสูงของก้อนตัวอย่างที่ได้รับจากเครื่อง Superpave Gyratory Compactor(SGC) สามารถนำมาใช้คำนวณกลับเพื่อหา Bulk Specific Gravity ของก้อนตัวอย่างได้ที่ทุกระดับปริมาณการจราจรและทุกระดับอุณหภูมิอากาศ หลังจากนั้นจึงทำการหาค่าพารามิเตอร์อื่นๆเพิ่มเติม ซึ่งผลของการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

- ค่าปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม(Optimum Asphalt Content) และค่า VMA ของวัสดุผสมมีแนวโน้มลดลง เมื่อจำนวนรอบของการบดอัดที่ใช้สำหรับออกแบบมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจำนวนรอบของการบดอัดประมาณ 90 รอบ แต่หลังจากที่จำนวนรอบของการบดอัดมากกว่า 90 รอบ ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองจะมีค่าคงที่
- การบดอัดวัสดุผสมด้วยจำนวนรอบที่แตกต่างกันเพียง 1 ถึง 2 รอบ จะไม่ทำให้ค่าปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม(Optimum Asphalt Content) และค่า VMA ของวัสดุผสมแตกต่างกันมากนัก
- การเพิ่มขึ้นของปริมาณการจราจรในลักษณะฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียล(ภายในอุณหภูมิที่กำหนด) จะไม่มีผลต่อความแปรปรวนของค่า VMA และ VFA
- ช่วงของอุณหภูมิสำหรับการออกแบบวัสดุผสมที่กำหนดไว้ในการออกแบบของซูเปอร์เพฟแคบเกินไป และไม่ทำให้การออกแบบวัสดุผสมแตกต่างกันมากนัก

15. ชยธันว์ (2542) ได้กล่าวเปรียบเทียบวิธีการบดอัดก้อนตัวอย่างโดยวิธีมาร์แชลกับการบดอัดก้อนตัวอย่างโดยเครื่อง Superpave Gyratory Compactor ในวิธีของซูเปอร์เพฟว่า การบดอัดก้อนตัวอย่างโดยวิธีมาร์แชลยังมีข้อบกพร่องและขีดจำกัดอยู่หลายประการคือ

- การบดอัดก้อนตัวอย่างโดยการกระแทกของก้อนน้ำหนักนั้น แตกต่างจากลักษณะการบดอัดผิวทางในสนามโดยรถบดอย่างสิ้นเชิง ส่งผลให้การออกแบบคลาดเคลื่อนได้
- ความสม่ำเสมอในการบดอัดค่อนข้างต่ำ เนื่องจากใช้แรงงานคนจึงมีความคลาดเคลื่อนสูง
- มีขีดจำกัดในขนาดของแบบหล่อ ทำให้ไม่สามารถออกแบบวัสดุผสมโดยใช้วัสดุมวลรวมที่มีขนาดใหญ่ได้
- มีความแปรปรวนของผลการบดอัดค่อนข้างสูง

สำหรับวิธีซูเปอร์เพฟได้นำเครื่อง Superpave Gyratory Compactor มาใช้ในการบดอัดก้อนตัวอย่าง ซึ่งมีมุมเอียงในการบดอัดเพื่อเลียนแบบพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในสนามได้ และสามารถทราบข้อมูลความสูงของก้อนตัวอย่างระหว่างการบดอัดเพื่อใช้ในการออกแบบและควบคุมคุณภาพของวัสดุผสม โดยที่จะมีข้อกำหนดเรื่องความหนาแน่นที่จำนวนรอบต่างๆ ซึ่งก้อนตัวอย่างจะต้องมีค่าความหนาแน่นไม่เกินหรืออยู่ในช่วงที่กำหนด ในส่วนนี้ก็จะทำให้ได้วัสดุผสมที่สามารถบดอัดได้อย่างมีคุณภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย