



การศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยแทนวัสดุมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า A study of properties of asphalt concrete containing old concrete

อาทร ชูพลสัต์ย์^{1*}, ณรงค์ กุหลาบ², ณิชาภา มินาบูลย์³

^{1,2} คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล 73170

³ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170

*E-mail: arthorn.chu@mutr.ac.th

บทคัดย่อ

จากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่แทนวัสดุมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า ว่ามีความเหมาะสมกับการใช้งานผิวทางหรือไม่ โดยทำการเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตโดยทั่วไป ที่อัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวม 48:20:22:10 โดยน้ำหนักและปริมาณของแอสฟัลต์ 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5% และ 6.0% โดยที่น้ำหนักของวัสดุมวลรวม ทำการทดสอบด้วยวิธีมาตรฐานมาร์แชล ของกรมทางหลวง ซึ่งตัวอย่างคอนกรีตเก่า และการทำตัวอย่างทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตใช้วัสดุมวลรวม หินปูนจากแหล่งเดียวกัน จากการศึกษาพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนวัสดุมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า ค่าการทดสอบในส่วนความหนาแน่น ร้อยละช่องว่างอากาศ ค่าการไหล เสถียรภาพ ร้อยละช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ และร้อยละช่องว่างระหว่างมวลรวม มีค่าอยู่ในเกณฑ์การทดสอบที่สามารถยอมรับได้ เมื่อเทียบกับกับแอสฟัลต์คอนกรีตโดยทั่วไป ตามเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวง จากการศึกษาพบว่าการนำคอนกรีตเก่ามาใช้ในการทำแอสฟัลต์คอนกรีตในส่วนของผิวทาง สามารถที่จะนำมาใช้ได้ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มรายละเอียดให้สมบูรณ์ เพื่อเป็นการช่วยลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม และเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

คำหลัก: แอสฟัลต์คอนกรีต, คอนกรีตเก่า และเสถียรภาพ

Abstract

The research was made for the purpose to study in the qualification of new asphalt concrete by using old concrete to be in the part of one component. We research on the issue whether it is suitable and get along with road surface or not. We had compared with asphalt concrete at rank 48:20:22:10 with weight and quantity of asphalt at 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5% and 6.0%. This test is done under Marshall method basis of Department of Highway. We use the same source of limestone to test and compare. As the research, the result of density, percentage of air space, flow, stability, percentage of space replaced with asphalt concrete and percentage of total mass gap are in acceptable level when comparing the old asphalt concrete under Department of Highway standard. As result, we can use an concrete to be the component in making asphalt concrete in road surface. However, additional research on its deep detail will decrease pollution and resource.

Keywords: asphalt concrete, old concrete and stability



1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมก่อสร้างได้เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว และรวมถึงงานทางด้านวิศวกรรมกรรมทาง ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการขนส่งสิ่งของ สินค้า เป็นตัวขับเคลื่อนเศรษฐกิจ และเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาประเทศ จากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจในอดีต และในปัจจุบัน ได้ส่งผลให้มีการก่อสร้างโดยใช้วัสดุก่อสร้างคอนกรีตเพิ่มขึ้น เป็นอย่างมาก เป็นสาเหตุให้ในปัจจุบันต้องให้ความสำคัญ และมีความจำเป็น ต้องมีการรื้อถอน ทำลาย โครงสร้างสิ่งก่อสร้างที่ทำจากคอนกรีต ที่สิ้นสุดอายุทางด้านวิศวกรรม ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่างๆ กำลังให้ความสำคัญ และพยายามออกกฎหมายบังคับให้อยู่ในปัจจุบัน แต่เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเนื้อแข็ง เสริมคุณสมบัติของหิน จึงเป็นการยากที่จะย่อยสลายในระยะเวลาอันสั้น ขยะคอนกรีตเหล่านี้ จึงเป็นปัญหาในการกำจัด อีกทั้งยังเป็นปัญหาในการขนย้ายเนื่องจากคอนกรีตแต่ละชิ้นมีน้ำหนักมาก และจะส่งผลกระทบต่อสภาพของแวลล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม ถ้าหากมีการนำขยะคอนกรีต มาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่า จะเป็นการช่วยประหยัดการใช้หินจากธรรมชาติได้อีกทางหนึ่ง

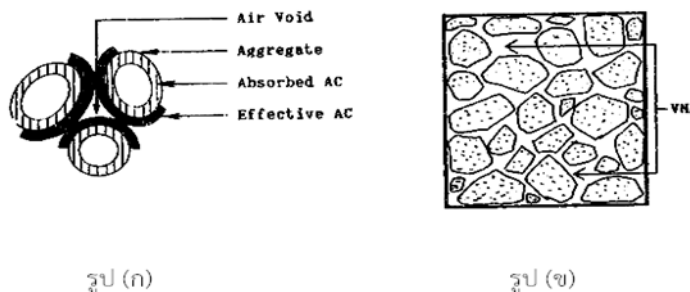
จากคุณสมบัติของขยะคอนกรีตที่เสมือนหินจากธรรมชาติ จึงเป็นเหตุให้เกิดแนวคิดที่จะนำเศษคอนกรีตมาแทนวัสดุมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีต เป็นการหมุนเวียนนำขยะคอนกรีตกลับมาใช้ เพื่อแก้ปัญหาการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ ในลักษณะของการระเบิดทำลายภูเขา เพื่อได้มาซึ่งหินจากธรรมชาติให้ลดน้อย โดยใช้วิธีการทดสอบมาตรฐานวิธีมาร์แชล (Marshall Method) ซึ่งเป็นวิธีทดสอบตามที่กรมทางหลวงใช้กันอยู่ในปัจจุบัน [1] ตามมาตรฐาน ASTM D 1559-89 และ AASHTO T 245-82 แล้วนำค่าที่ได้มาเพื่อเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสม และนำอัตราส่วนที่เหมาะสม ไปใช้ในการพัฒนา ในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า ว่ามีความเหมาะสมกับการใช้งานผิวทางหรือไม่
2. เพื่อเป็นการนำเศษคอนกรีตเก่า กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิศวกรรมในอีกลักษณะหนึ่ง
3. เพื่อลดอัตราการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1. แอสฟัลต์คอนกรีต แอสฟัลต์คอนกรีต เป็นวัสดุทำผิวทางหรือพื้นทางบดอัดแน่น ได้จากการผสมกันระหว่างวัสดุมวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ตามอัตราส่วนผสมที่ได้ออกแบบไว้ ในการผสมกันจะต้องให้ความร้อนทั้งวัสดุมวลรวม และ แอสฟัลต์ซีเมนต์จนได้อุณหภูมิตามที่กำหนดเสียก่อน เมื่อผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำไปใช้งานพร้อมบดอัดให้แน่นขณะที่ยังร้อนอยู่ [2]



รูปที่ 1: แสดงถึงช่องว่างอากาศ (Air Voids) และช่องว่างในวัสดุมวลรวม (VMA) ของแอสฟัลต์คอนกรีต



รูปที่ 1 (ก) แสดงถึงแอสฟัลต์คอนกรีต ประกอบด้วยแอสฟัลต์และวัสดุมวลรวม แอสฟัลต์ส่วนหนึ่งจะถูกดูดเข้าไปในเม็ดวัสดุมวลรวม (Absorbed Asphalt) แอสฟัลต์ส่วนที่เหลือเรียกว่า แอสฟัลต์ประสิทธิภาพ (Effective Asphalt) ทำหน้าที่เคลือบผิวเม็ดวัสดุมวลรวม ช่องว่างระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์เรียกว่าช่องว่างอากาศ (Air Voids)

รูปที่ 1 (ข) แสดงถึงช่องว่างในวัสดุมวลรวม (VMA) ช่องว่างในวัสดุมวลรวมซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาตรทั้งหมดของแอสฟัลต์คอนกรีตหักออกด้วยปริมาตรของวัสดุมวลรวม

3.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิรุชร นกแก้ว [3] ได้ทำการศึกษาค่าการใช้เถ้าลอยลิกไนต์แทนมวลรวมละเอียดในแอสฟัลต์คอนกรีต โดยการนำเถ้าลิกไนต์ที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์มาผสมแทนมวลรวมละเอียดใน Hot Bin 1 เพื่อลดปริมาณการใช้หินฝุ่นซึ่งเป็นวัสดุมวลรวมละเอียดในแอสฟัลต์คอนกรีตลง ซึ่งใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60 – 70 ในการผลิตส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณเถ้าลิกไนต์ที่เหมาะสมที่ใช้ผสมลงในอัตราส่วนของเถ้าลิกไนต์ต่อหินฝุ่น ใน Hot Bin 1 ที่ Mix Proportion Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 ของหินปูนเท่ากับ (2 : 45) : 28 : 11 : 14 , (2 : 44) : 29 : 11 : 14 และของหินบะซอลต์เท่ากับ (2 : 46) : 17 : 15 : 20 , (2 : 45) : 18 : 15 : 20 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ของหินปูน 6.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมวลรวม และของหินบะซอลต์เท่ากับ 7.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมวลรวม มีผลทำให้ค่าดัชนีความแข็งแรงของแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 81, 85, 85 และ 85 % ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องตามเกณฑ์กำหนด

ศรัณยา เตชะพรหมพันธ์ [4] ได้ทำการศึกษาค่าการนำตะกรันเตาหลอมมาทดแทนวัสดุมวลรวมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต จากผลการทดลองพบว่าค่าความปลอดภัยจากการลื่นไถล (PSV) ของตะกรันหลอม มีค่าสูงกว่าวัสดุมวลรวมประเภทอื่นๆ และมีค่าความสึกหรอ (LAA) น้อยกว่าหินปูนแต่มากกว่าหินบะซอลต์และหินแกรนิต ส่วนคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ออกแบบโดยวิธีมาร์แชล พบว่าการใช้ตะกรันหลอมเป็นวัสดุมวลรวมจะให้ค่าเสถียรภาพ (Stability) สูงที่สุด ค่าการไหล (Flow) ต่ำ และมีค่า % AC โดยน้ำหนักของมวลรวมต่ำ แต่เนื่องจากตะกรันเตาหลอมมีค่าความหนาแน่นสูง จึงใช้วัสดุเชื่อมประสานมากกว่าวัสดุมวลรวมประเภทอื่นๆ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1. ขั้นตอนที่ 1 : การเก็บข้อมูล

- 4.1.1. รวบรวมทฤษฎี มาตรฐานการทดสอบ มาตรฐานการออกแบบ งานวิจัย และเอกสารที่เกี่ยวข้อง
- 4.1.2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง มาตรฐานการทดสอบ และมาตรฐานการออกแบบ

4.2. ขั้นตอนที่ 2 : การเลือกแหล่งวัสดุที่เหมาะสมกับงาน

- 4.2.1. แอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด 60 – 70 [5]
- 4.2.2. วัสดุมวลรวม ใช้หินปูน (Lime Stone) จาก อ.อุทุมพร จ.สุพรรณบุรี
- 4.2.3. คอนกรีตเก่าที่แทนมวลรวม โดยเป็นก้อนตัวอย่างคอนกรีตเก่า ที่ใช้หินปูนจาก อ.อุทุมพร จ.สุพรรณบุรี ในการทำคอนกรีต

4.3. ขั้นตอนที่ 3 : การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมและออกแบบส่วนผสม

- 4.3.1. แอสฟัลต์ซีเมนต์
 - (1) ทดลองหาค่าคุณสมบัติตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนด ผลการทดลองใช้ได้ตามข้อกำหนด
 - (2) ทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Gac) = 1.02
 - (3) ทดลองหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (Kinematics Viscosity) กับอุณหภูมิ



4.3.2. วัสดุมวลรวมจากยุงหินเย็น (Cold Bins)

- (1) ทดลองคุณสมบัติตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนด ผลการทดลองใช้ได้ตามข้อกำหนด
- (2) ทดลองขนาดคละดัดขึ้นความแบนและดัชนีความยาวของมวลรวมทุกยุง
- (3) หาอัตราส่วนผสมซึ่งทำให้ได้ขนาดคละถูกต้องตามข้อกำหนด ในที่นี้ได้อัตราส่วนผสม ดังนี้ หินฝุ่น : หิน 3/8 นิ้ว : หิน 3/4 นิ้ว เท่ากับ 50 : 30 : 20 โดยน้ำหนัก

4.3.3. วัสดุมวลรวมจากยุงหินร้อน (Hot Bin)

- (1) ทดลองหาขนาดคละ ดัชนีความแบน และดัชนีความยาวทุกยุง ผลการทดลองใช้ได้ตามข้อกำหนด
- (2) หาอัตราส่วนผสมที่ทำให้ขนาดคละรวมเข้าข้อกำหนด และพยายามให้ใกล้เคียงกับขนาดคละรวมของ Cold Bins มากที่สุด ในโครงการนี้ได้อัตราส่วนผสมดังนี้

Hot Bin 1 : Hot Bin 2 : Hot Bin 3 : Hot Bin 4 = 48 : 20 : 22 : 10 โดยน้ำหนัก

- (3) คำนวณหาค่าดัชนีความแบน (F.I.) และ ดัชนีความยาว (E.I.) ของวัสดุ มวลรวม เมื่อผสมกันตามอัตราส่วนได้ค่าร้อยละ 13 และ 19 ตามลำดับ

- (4) ทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะแบบ Bulk (Oven – Dry Basis) ได้ค่าดังนี้

Hot Bin 1 = 2.667 (ตามมาตรฐาน ทล.-ท.209/2517)

Hot Bin 2 = 2.598 (ตามมาตรฐาน ทล.-ท.207/2517)

Hot Bin 3 = 2.659 (ตามมาตรฐาน ทล.-ท.207/2517)

Hot Bin 4 = 2.669 (ตามมาตรฐาน ทล.-ท.207/2517)

- (5) ทดลองหาค่าความสะอาดของวัสดุมวลรวม Hot Bin 1 (หินฝุ่น)

4.4. ขั้นตอนที่ 4 : ทำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล เพื่อหาค่าความแน่น และคุณสมบัติอื่นๆ โดย

4.4.1. ใช้วัสดุมวลรวมจาก Hot Bins ผสมกันตามอัตราส่วน 48 : 20 : 22 : 10 โดยน้ำหนัก

4.4.2. ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ผสมตั้งแต่ร้อยละ 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม แต่ละค่าของปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ผสม ทำตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต 3 ก้อน

- (1) ตัวอย่าง 1 ก้อน ใช้วัสดุมวลรวม 1,200 กรัม

- (2) บดอัดตัวอย่างหน้าละ 75 ครั้ง

(3) อุณหภูมิแอสฟัลต์ซีเมนต์ขณะผสมกับวัสดุมวลรวม คือ อุณหภูมิที่แอสฟัลต์มีค่าความหนืด (Kinematic Viscosity) 170 ± 20 cst ก่อนผสมต้องให้ความร้อนวัสดุมวลรวมจนมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิแอสฟัลต์ซีเมนต์ไม่เกิน 50 oF (28 oC)

- (4) อุณหภูมิบดอัดคืออุณหภูมิที่แอสฟัลต์มีค่าความหนืด (Kinematic Viscosity) 280 ± 30 cst

- (5) ตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตทุกก้อนนำไปทดลองหาค่าความแน่น (Density)

ค่าเสถียรภาพ (Stability) และ ค่าการไหล (Flow)

(6) ที่แต่ละค่าของปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ผสม จะมีค่าความแน่น (Density) ค่าเสถียรภาพ (Stability) และค่าการไหล (Flow) อย่างละ 3 ค่า ให้หาค่าเฉลี่ย (ค่าที่ผิดปกติไม่นำมาเฉลี่ย)

4.5. ขั้นตอนที่ 5 : ทดลองหา Theoretical Maximum Specific Gravity (ASTM D 2041)

4.5.1. ปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ผสมคือ 4.0 , 4.5 , 5.0 , 5.5 และ 6.0 % โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม

4.5.2. อัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมเหมือนเดิม (48 : 20 : 22 : 10)



4.5.3. ผลการทดลองได้ค่า Theoretical Maximum Specific Gravity = 2.502

4.6. ขั้นตอนที่ 6 : คำนวณหาค่าต่างๆ

4.6.1. คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมที่ผสมกัน (Gag)

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร Gag} &= 100 / (P1/G1 + P2/G2 + P3/G3 + P4/G4) \\ &= 100 / ([45/2.667]+[20/2.598]+[19/2.659]+[16/2.669]) \\ &= 2.651 \end{aligned}$$

4.6.2. คำนวณหาปริมาณแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมโดยวัสดุมวลรวม (x)

$$\text{จากขั้นตอนที่ 5 ได้ค่า } a = 5.5, Gm = 2.502$$

$$\begin{aligned} \text{สูตร } b &= 100 \times a / (100+a) \\ &= 100 \times 5.5 / (100 + 5.5) \\ &= 5.21 \% \text{ โดยของแอสฟัลต์คอนกรีต} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{สูตร } Gv &= (100-b) / [(100/Gm) - (b/Gac)] \\ &= (100-5.21) / [(100/2.521) - (5.21/1.02)] \\ &= 2.720 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{สูตร } x &= 100 \times (Gv-Gag) \times Gac / (Gv \times Gag) \\ &= 100 \times (2.720 - 2.651) \times 1.02 / (2.720 \times 2.651) \\ &= 0.96\% \text{ โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม} \end{aligned}$$

4.6.3. คำนวณหาปริมาตรช่องว่างในวัสดุมวลรวม (VMA) ปริมาตรช่องว่างอากาศ

(Air Voids) และปริมาตรช่องว่างในวัสดุมวลรวมที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA)

จากข้อมูลขั้นตอนที่ 4 (ปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ผสม และความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง) นำมาคำนวณหาคุณสมบัติต่างๆ ได้

4.7. ขั้นตอนที่ 7 : เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอสฟัลต์กับค่าคุณสมบัติต่างๆ

นำข้อมูลปริมาณยางแอสฟัลต์แต่ละค่ามาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณจากขั้นตอนที่ 6 แล้วมา กำหนดออกแบบที่ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม

4.8. ขั้นตอนที่ 8 : ทำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า

จากนั้น ทำการทดลองตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5 ถึง ขั้นตอนี่ 8 โดยยังคงใช้อัตราส่วนของวัสดุมวลรวมจากยั้งหินร่อน

4.9. ขั้นตอนี่ 9 : เปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดหินปูน Mix Proportion Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า ตามลำดับ

5. ผลและการวิจารณ์

5.1. มวลรวมหยาบชนิดหินปูน [6]

5.1.1 การเรียงขนาดและขนาดเม็ดวัสดุ ที่จำแนกออกเป็น Hot Bin 2, 3 และ 4 มีขนาดคละตามมาตรฐานกรมทางหลวง



5.1.2 ค่าความลึกหรือผลการทดสอบความแข็งแรงของมวลรวมหยาบ มีค่าเท่ากับร้อยละ 28.54 ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ยอมรับตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ที่กำหนดให้ค่าความลึกหรือต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 40

5.1.3 ดัชนีความแบน เป็นการหาค่าร้อยละของน้ำหนักรวมมวลรวมหยาบที่มีความหนาของด้านแบน มีค่าน้อยกว่า 0.6 เท่าของขนาดเฉลี่ยของมวลรวมนั้น ในการทดลองได้นำมวลรวมจาก Hot Bin 2, 3 และ 4 ที่มีขนาดข้างตะแกรงเบอร์ 4 มาทดสอบ โดยได้ค่าดัชนีความแบนเท่ากับ 32%, 11% และ 11% ตามลำดับ

5.1.4 ดัชนีความยาว เป็นการหาร้อยละของน้ำหนักรวมมวลรวมที่มีความยาวของส่วนยาวมากกว่า 1.8 เท่าของขนาดเฉลี่ยของมวลรวมนั้น ในการทดลองได้นำมวลรวมจาก Hot Bin 2, 3 และ 4 ขนาดข้างตะแกรงเบอร์ 4 มาทดสอบ โดยได้ค่าดัชนีความยาวเท่ากับ 1%, 13% และ 17% ตามลำดับ

5.1.5 ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ Hot Bin 2, 3 และ 4 มีค่าความถ่วงจำเพาะแบบ Bulk Specific Gravity 2.598, 2.659 และ 2.669 ตามลำดับและค่าความถ่วงจำเพาะแบบ Apparent Specific Gravity 2.721, 2.718 และ 2.739 ตามลำดับ

5.1.6 ความทนทาน ผลการทดสอบความทนทานของมวลรวมหยาบด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟต มวลรวมหยาบมีค่าความลึกหรือร้อยละ 0.87 โดยเกณฑ์ยอมรับนั้นน้ำหนักรวมมวลรวมหยาบ จะต้องสูญหายไปไม่เกินร้อยละ 9

5.2. มวลรวมละเอียดชนิดหินปูน [6]

5.2.1 ขนาดคละของมวลรวมละเอียด ผลการทดสอบหาขนาดคละมวลรวมละเอียด Hot Bin 1 มีขนาดคละตามมาตรฐานกรมทางหลวง

5.2.2 ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ Hot Bin 2, 3 และ 4 มีค่าความถ่วงจำเพาะแบบ Bulk Specific Gravity 2.598, 2.659 และ 2.669 ตามลำดับและค่าความถ่วงจำเพาะแบบ Apparent Specific Gravity 2.721, 2.718 และ 2.739 ตามลำดับ

5.2.3 ความทนทาน ผลการทดสอบความทนทานของมวลรวมหยาบด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟต มวลรวมหยาบมีค่าความลึกหรือร้อยละ 0.87 โดยเกณฑ์ยอมรับนั้นน้ำหนักรวมมวลรวมหยาบ จะต้องสูญหายไปไม่เกินร้อยละ 9

5.2.4 ค่าความสะอาด (Sand Equivalent) เป็นการทดสอบหาปริมาณของวัสดุดินเหนียวที่ปะปนอยู่ในมวลรวมละเอียด ผลการทดสอบ ค่าความสะอาด (Sand Equivalent) ที่ค่าเท่ากับร้อยละ 71.45% โดยที่เกณฑ์ยอมรับกำหนดให้มวลรวมละเอียดมีค่า ค่าความสะอาด (Sand Equivalent) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

5.3. ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ (AC 60 - 70) [6]

5.3.1. ค่าเพนิเทรชัน (Penetration) มีค่าเท่ากับ 69.33

5.3.2. จุดวาบไฟ (Flash Point by Cleveland Open - cup) มีค่าเท่ากับ 397.55°C

5.3.3. จุดอ่อนตัว (Softening Point) มีค่าเท่ากับ 45.5°C

5.3.4. ความยืดดึง (Ductility) มีค่าเท่ากับ 115.15 cm.

5.3.5. การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน (Solubility in Trichloroethylene) มีค่าเท่ากับ 99.1 %

5.3.6. ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) มีค่าเท่ากับ 1.02

โดยมีผลการทดสอบ และผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ แอสฟัลต์คอนกรีตชนิดหินปูน กับแอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า ที่ปริมาณช่องว่างอากาศ 4.0 % ของแอสฟัลต์คอนกรีต แสดงดังตารางที่ 1 โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบและการศึกษาวิจัยกับ มาตรฐานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ในส่วนของชั้นผิวทาง (Wearing Course) ตามมาตรฐานกรมทางหลวง [7]



**ตารางที่ 1 : ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดหินปูน กับแอสฟัลต์คอนกรีต
ที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า ที่ปริมาณช่องว่างอากาศ 4.0 % ของแอสฟัลต์คอนกรีต**

อัตราส่วนผสม	ความหนาแน่น (g/ml)	ช่องว่างอากาศ ((%)	แอสฟัลต์ซีเมนต์ (%)	VMA (%)	VFA (%)	เสถียรภาพ (lb)	การไหล (0.01 in)	เสถียรภาพ/การไหล (lb/0.01in)
แอสฟัลต์คอนกรีตชนิดหินปูน (%AC. by Wt. of Agg.) : 48 : 20 : 22 : 10	2.377	4.00	5.10	14.50	72.28	2,511	15.00	167
แอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า (%AC. by Wt. of Agg.) : 48 : 20 : 22 : 10	2.356	4.00	5.30	15.30	71.14	3,029	16.00	189
มาตรฐานกรมทางหลวง (Wearing Course) [7]	-	3-5	-	≥ 14	-	≥ 1,800	8 – 16	≥ 160

6. สรุปผล

จากการศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยแทนวัสดุมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า ได้ทำการเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่าง แอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า กับแอสฟัลต์คอนกรีตมวลรวมชนิดหินปูนปกติ ที่ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไป สามารถสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

6.1. ความหนาแน่น (Density) ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่าที่บดอัดแล้ว มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดหินปูน เพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อปริมาณของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานมากนัก

6.2. ร้อยละช่องว่างอากาศ (Air Voids) ของแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งชนิดหินปูนและคอนกรีตเก่า มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับความหนาแน่น จุดที่มีความหนาแน่นสูงสุด จะใกล้เคียงกับจุดที่มีร้อยละช่องว่างอากาศในแอสฟัลต์คอนกรีตน้อยที่สุด และเมื่อใช้ร้อยละช่องว่างอากาศที่ 4.0 แล้ว จะได้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ 5.10 และ 5.30 ของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดหินปูน และแอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่ถัาร้อยละช่องว่างอากาศ มีค่าที่มาก จะทำให้มีพื้นที่ในการขยายตัวของแอสฟัลต์มาก แต่ถ้ามามากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาที่ผิวบนทำให้เกิดการเยิ้ม (Bleeding) และจะทำให้ น้ำและอากาศ ซึมผ่านเข้าลงไปทำลายแอสฟัลต์ และการยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ได้ง่ายขึ้น ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตนั้นมียุการใช้งานที่สั้นลง

6.3. ร้อยละช่องว่างระหว่างมวลรวม (% Void in Mineral Aggregate, VMA) ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนมวลรวม ด้วยคอนกรีตเก่า จะมีความสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดหินปูน ซึ่งจะทำให้มีปริมาตรช่องว่าง สำหรับใส่แอสฟัลต์ซีเมนต์ได้มากขึ้น แสดงว่าทำให้มีฟิล์มแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่ห่อหุ้มผิววัสดุมวลรวมหนาขึ้น ผลที่ตามมาทำให้แอสฟัลต์คอนกรีต มีความคงทนต่ออายุการใช้งานที่มากขึ้น

6.4. ร้อยละช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (% Void Filled with Asphalt, VFA) แอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับร้อยละช่องว่างอากาศ จุดที่ร้อยละช่องว่างอากาศมาก จะใกล้เคียงกับจุดที่มีร้อยละ



ช่องว่าง ส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์จะมีค่าน้อย และจะเห็นได้ว่า ค่าร้อยละช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์จะอยู่ที่ 72.28 และ 71.14 ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ถ้ามีการแทนที่ของแอสฟัลต์น้อยเกินไป จะทำให้เกิดความเสียหาย เหมือนกรณีที่ช่องว่างอากาศเพิ่มขึ้น

6.5. เสถียรภาพ (Stability) แอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า มีค่าเสถียรภาพสูงขึ้น ซึ่งแอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า มีค่าเสถียรภาพที่มากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดหินปูนนั้น ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตนั้นมีความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรได้สูง โดยที่ไม่เกิดร่องล้อ เป็นคลื่น หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในลักษณะอื่นๆ แต่ถ้าค่าเสถียรภาพมีค่าสูงมากๆ จะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีลักษณะที่แข็งเกินไป ขาดความยืดหยุ่น อาจทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตนั้นเกิดความเสียหายได้

6.6. ค่าการไหล (Flow) ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า ค่าการไหลจะเพิ่มขึ้น เมื่อแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าการไหลที่สูงมากจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตนั้น เกิดการเสียดสีได้ง่ายขึ้น อาจทำให้เกิดอันตรายต่อการขับขี่ได้

จากการศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่แทนมวลรวมด้วยคอนกรีตเก่า แล้วนำมาเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตปกติทั่วไป สรุปได้ว่า สามารถนำคอนกรีตเก่าซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ใช่ประโยชน์แล้วสามารถนำกลับมา ใช้ประโยชน์ทางด้านวิศวกรรมในส่วนของงานถนน ในที่นี้คือในส่วนของผิวทาง (Wearing Course) นอกจากนี้สามารถนำไปใช้ในการทำเป็นผิวทางสำหรับ ทางจักรยาน ลานจอดรถยนต์ และทางเดินเท้าภายนอกอาคารได้ แต่ควรมีการศึกษา ขึ้นรายละเอียดให้สมบูรณ์ และครอบคลุม เพิ่มเติม ซึ่งจะเป็นการช่วยลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมจากขยะคอนกรีต และเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ได้อีกแนวทางหนึ่ง

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณ โครงการการศึกษาวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2558 และขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆสำหรับการศึกษาวิจัย ตลอดจนนักศึกษาศาखाวิชาวิศวกรรมโยธา ที่มีส่วนช่วยในการดำเนินงานการศึกษาวิจัย และสุดท้ายขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง, 2543, มาตรฐานวิธีการทดลอง, โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.
- [2] ณรงค์ กุหลาบ, 2548, แอสฟัลต์เทคโนโลยี, สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยรังสิต.
- [3] นิรชร นกแก้ว, 2539, “การศึกษาใช้เก้าหนักลิกไนต์แทนมวลรวมละเอียดในแอสฟัลต์คอนกรีต”, ปรินูญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] ศรัณยา เดชะพรหมพันธ์, 2544, “การศึกษานำตะกอนดินโคลนมาทดแทนวัสดุมวลรวมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต”, ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] ราชกิจจานุเบกษา, 2533, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับงานทาง มอก.851-2533 กระทรวงอุตสาหกรรม,
- [6] นิรชร พึ่งแดง, 2550, การทดสอบวัสดุการทาง, สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [7] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง, 2543, มาตรฐานงานทาง, โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.