

ตารางที่ 4.3 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตจำแนกตามค่า P/C Ratio

ซีเมนต์: ทราย: หิน = 1:2:4 โดยน้ำหนัก, W/C = 0.4

Fatty Alcohol Ethoxylate 4 % ของซีเมนต์โดยน้ำหนัก (กรณีผสมน้ำยาง)

P/C Ratio	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
ค่าการยุบตัว (Slump) ซม.	7.0	25.0*	23.0*	22.5*	22.0*	20.5*

* เกิดการยุบตัวแบบสวบ (Collapse Slump)

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่า คอนกรีตปกติที่ไม่ได้ผสมน้ำยางธรรมชาติและสารลดแรงตึงผิว จะมีค่าการยุบตัวเท่ากับ 7 ซม. ขณะที่เมื่อผสมน้ำยางตามสัดส่วน ตั้งแต่ P/C = 0.05 ถึง 0.25 และผสมสารลดแรงตึงผิว ในสัดส่วน 4% ของน้ำหนักซีเมนต์ที่ใช้ จะพบว่า การยุบตัวของคอนกรีตจะเป็นแบบการยุบตัวสวบ (Collapse Slump) ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งการยุบตัวลักษณะนี้ อาจมีสาเหตุเนื่องจากมีน้ำผสมมากเกินไป แต่สาเหตุในกรณีนี้ น่าจะเป็นผลจากการผสมสารลดแรงตึงผิวมากกว่าการมีน้ำมากเกินไป อย่างไรก็ตาม การใช้คอนกรีตลักษณะนี้จะต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากจะมีแนวโน้มที่จะเกิดการแยกตัวได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยลงมาก เมื่อใช้ W/C = 0.4 แทน 0.6 ทั้งนี้ มีข้อน่าสังเกตว่า ลักษณะความชื้นเหลวเมื่อพิจารณาด้วยสายตา น่าจะมีค่าการยุบตัวใกล้เคียงคอนกรีตปกติ แต่กลับพบว่า เมื่อทำการทดสอบจริง ค่าการยุบตัวจะอยู่ที่ประมาณ 20.0 ซม. และเป็นการยุบตัวแบบสวบ



รูปที่ 4.6 คอนกรีตสดสัดส่วน W/C = 0.4 ผสมน้ำยาง และสารลดแรงตึงผิว ทำให้เกิดการยุบตัวแบบสวบ

4.6 กำลังรับแรงของคอนกรีต

ในส่วนของการทดสอบหากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ของคอนกรีตที่ผสมน้ำยางธรรมชาติ ตามสัดส่วนต่างๆ เทียบกับคอนกรีตธรรมดา โดยเลือกใช้วิธีการผสมตามที่กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.5 ได้ผลดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7

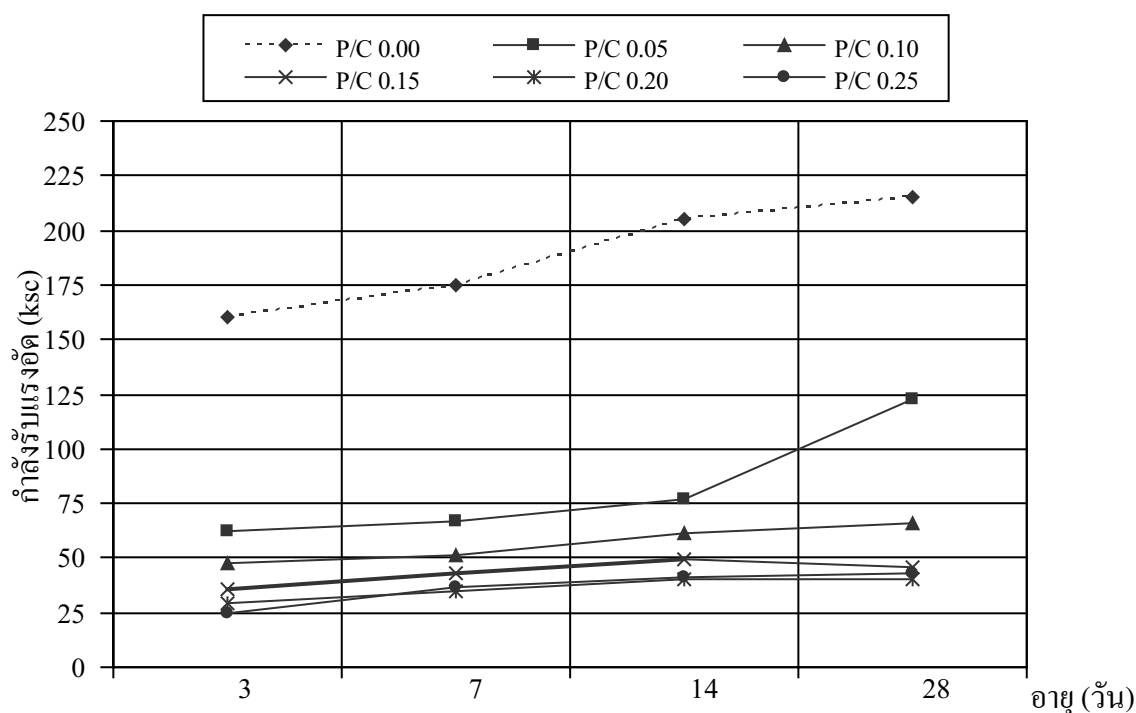
ตารางที่ 4.4 กำลังรับแรงอัด (ksc) ของคอนกรีต จำแนกตามค่า P/C Ratio และระยะเวลาการบ่มแห้ง ในอากาศ

ซีเมนต์: ทราย: หิน = 1:2:4 โดยน้ำหนัก, W/C = 0.4, บ่มขึ้น 7 วันทุกตัวอย่าง

Lutensol[®] XL 80 = 4 % ของซีเมนต์โดยน้ำหนัก (กรณีที่ผสมน้ำยาง)

ตัวอย่างทดสอบรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐาน ขนาด 15×15×15 ซม.

ระยะเวลาบ่มแห้งในอากาศ (วัน)	P/C Ratio					
	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
3	160	62	48	36	29	25
7	175	67	51	43	35	37
14	205	77	61	49	40	41
28	215	123	66	46	40	43



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุ (บ่มแห้งในอากาศ) หลังจากบ่มขึ้นแล้ว 7 วัน กับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ตามค่า P/C ที่ต่างกัน

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7 จะเห็นว่า การผสมน้ำยางธรรมชาติในปริมาณที่เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ก็จะมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ แต่ระยะเวลาการบ่มที่นานขึ้น ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้น การเลือกใช้สัดส่วน P/C ที่เหมาะสมจึงอาจต้องพิจารณาค่ากำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) ร่วมกับความเหมาะสมสำหรับงานแต่ละประเภท ทั้งนี้ ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีต ที่มีปริมาณน้ำยางสูงๆ จะมีเส้นใยขนาดเล็ก (Micro Fibers) สีขาว กระจายทั่วเนื้อคอนกรีตอย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 4.8 โดยรอยวิบัติจะไม่แยกหลุดออกจากกันในทันทีเหมือนคอนกรีตธรรมดาทั่วไป



รูปที่ 4.8 คอนกรีตสัดส่วน W/C = 0.4 ผสมน้ำยาง P/C = 0.25

มีเส้นใยขนาดเล็ก (Micro Fibers) สีขาวกระจายทั่วกัน

สำหรับค่ากำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) ของคอนกรีตผสมน้ำยางธรรมชาติ ตามสัดส่วนต่างๆ เทียบกับคอนกรีตปกติ โดยเลือกใช้วิธีการผสมตามวิธีการเดียวกัน ได้ผลดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.9

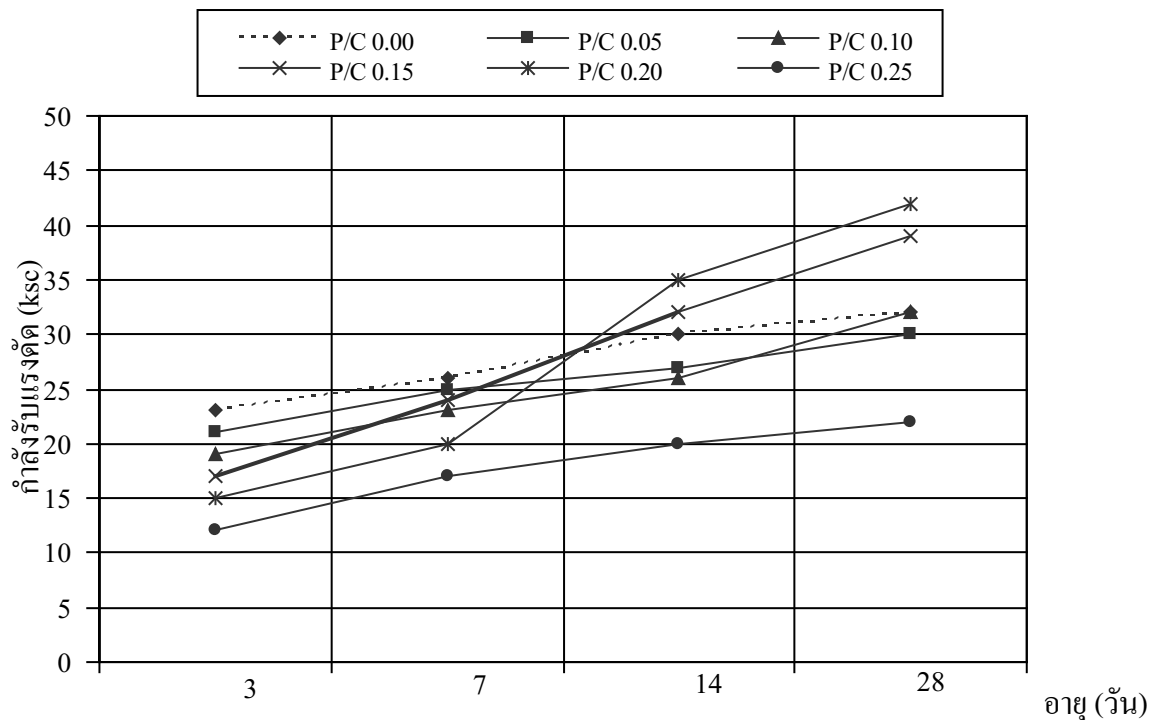
ตารางที่ 4.5 กำลังรับแรงดัด (ksc) ของคอนกรีต จำแนกตามค่า P/C Ratio และระยะเวลาการบ่มแห้งในอากาศ

ซีเมนต์: ทราย: หิน = 1:2:4 โดยน้ำหนัก, W/C = 0.4, บ่มขึ้น 7 วันทุกตัวอย่าง

Lutensol[®] XL 80 = 4 % ของซีเมนต์โดยน้ำหนัก (กรณีผสมน้ำยาง)

ตัวอย่างทดสอบรูปคานมาตรฐาน ขนาด 15×15×75 ซม.

ระยะเวลาบ่มแห้งในอากาศ (วัน)	P/C Ratio					
	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
3	23	21	19	17	15	12
7	26	25	23	24	20	17
14	30	27	26	32	35	20
28	32	30	32	39	42	22



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุ (บ่มแห้งในอากาศ) หลังจากบ่มขึ้นแล้ว 7 วัน
กับกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต ตามค่า P/C ที่ต่างกัน

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.9 จะเห็นว่า กำลังรับแรงดัดของคอนกรีต จะมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อค่า P/C มากขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มแห้งในอากาศเพิ่มเป็น 14 วัน และ 28 วัน จะพบว่า กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตจะสูงขึ้นมาก ขณะที่ค่า P/C สูงขึ้น อาจเนื่องจากน้ำในคอนกรีตได้ระเหยออกไปมากแล้ว จนอนุภาคของเนื้อยางเริ่มทำหน้าที่ได้ดีขึ้นโดยเกาะตัวกันเป็นชั้นฟิล์ม (Film) ที่แข็งแรงขึ้น และเกาะกระจายตัวกันทั่วเนื้อคอนกรีต ดังตัวอย่างที่แสดงแล้วในรูปที่ 4.8 อย่างไรก็ตาม ที่ค่า P/C = 0.25 กลับมีกำลังไม่สูงขึ้น อาจเนื่องจากการมีฟองอากาศมากเกินไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 บทนำ

จากผลการวิจัยในบทที่ 4 สามารถสรุปผลได้เป็นประเด็นต่างๆ คือ 1. การผสมน้ำยางธรรมชาติในคอนกรีต 2. เทคนิควิธีการผสม 3. ผลกระทบจากสารเคมีรักษาเสถียรภาพน้ำยาง 4. ความสามารถเทได้ 5. กำลังรับแรงของคอนกรีต 6. ส่วนผสมคอนกรีตที่แนะนำ และ 7. ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาในอนาคต

5.2 การผสมน้ำยางธรรมชาติในคอนกรีต

น้ำยางธรรมชาติสด (น้ำยางพารา) สามารถนำมาผสมร่วมกับคอนกรีตได้ แต่ต้องดำเนินการด้วยเทคนิควิธีการที่สามารถแก้ปัญหาหลักที่สำคัญด้วยกัน 3 ประการ คือ 1. น้ำยางขาดเสถียรภาพได้ง่าย ทำให้จับตัวกันเร็วเกินไป จนไม่สามารถนำคอนกรีตมาใช้งานหรือเทเข้าแบบได้ ซึ่งแก้ไขได้โดยใช้การผสมสารแอมโมเนียเหลว (NH_3) ในน้ำยางสด และสารลดแรงตึงผิว แบบไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) เช่น ผลิตภัณฑ์ Lutensol[®] XL 80 (C_{10} - Guerbet Alcohol Alkoxyate) ในคอนกรีต 2. น้ำยางทำให้คอนกรีตก่อตัวช้าลง ทำให้ไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความเร่งด่วนสูง อาจแก้ไขได้ด้วยการบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำ หรืออาจเลือกใช้ในงานคอนกรีตที่ไม่ต้องการความเร่งด่วนได้ และ 3. คอนกรีตเกิดฟองอากาศมาก ทำให้คอนกรีตขาดความแน่นตัว จนกำลังรับแรงอัดลดลงอย่างมาก อาจดำเนินการได้ด้วยการลดค่า Water/Cement Ratio (W/C) ลง และการใช้เครื่องผสมที่มีความเร็วในการกวนต่ำๆ ซึ่งจะช่วยลดการกระตุ้นให้เกิดฟองมาก

5.3 เทคนิควิธีการผสม

การผสมคอนกรีตร่วมกับน้ำยางธรรมชาติ สามารถทำการผสมด้วยโม่ผสม (Tilting Mixer) เหมือนคอนกรีตทั่วไป ที่สำคัญต้องนำน้ำผสมกับสารเคมีที่เรียกว่า “สารลดแรงตึงผิว แบบไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants)” ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ใช้ผลิตภัณฑ์ Lutensol[®] XL 80 (C_{10} - Guerbet Alcohol Alkoxyate) โดยผสมในสัดส่วน 4 % โดยน้ำหนักของซีเมนต์ที่ใช้ทั้งหมด เมื่อคอนกรีตเข้ากันดีแล้วจึงผสมน้ำยางธรรมชาติเป็นลำดับสุดท้าย อนึ่ง ฟองอากาศที่เกิดขึ้นในส่วนผสม อาจลดลงได้ด้วยการใช้เครื่องผสมที่มีประสิทธิภาพดีกว่า อย่างเครื่องผสมแบบกระทะ (Pan Mixer) โดยปรับความเร็วในการกวนลดลง (ในการวิจัยนี้ไม่ได้ดำเนินการด้วยวิธีนี้ เนื่องจากขาดเครื่องมือดังกล่าว)

5.4 ผลกระทบจากสารเคมีรักษาเสถียรภาพน้ำยาง

สารเคมีรักษาเสถียรภาพน้ำยาง เช่น สารแอมโมเนีย (NH_3) และบอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ไม่มีผลในการทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ลดลง แต่กลับพบว่า การใช้สารแอมโมเนียผสมในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตรับกำลังอัดได้สูงขึ้น ประมาณ 30 % จากคอนกรีตปกติ ทั้งนี้ อาจเป็นผลจากการที่ค่า W/C ลดลง เนื่องจากการแทนที่น้ำด้วยแอมโมเนียเหลว (ในการวิจัย ได้ทดสอบที่ปริมาณ 20 % โดยน้ำหนักของน้ำที่ใช้ผสมทั้งหมด) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าแอมโมเนียจะเป็นสารที่ระเหยตัวเร็ว และโดยเฉพาะเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration)

5.5 ความสามารถเทได้

การใช้ค่า W/C = 0.6 ในการผสมคอนกรีตนั้น พบว่าไม่สามารถใช้ได้ เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่คอนกรีตมีความเหลวมากเกินไป ซึ่งเมื่อผสมสารลดแรงตึงผิวแล้ว จะทำให้คอนกรีตมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก (คล้ายฟองเบียร์) ดังนั้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าว จึงต้องลดค่า W/C เป็น 0.4 ซึ่งพบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ (ฟองอากาศน้อยลงมาก) ทั้งนี้ ในทางทฤษฎี ยังสามารถลดค่า W/C ลงได้อีก แต่มีข้อจำกัดในทางปฏิบัติ จากปริมาณน้ำที่มีประมาณ 60 % ในน้ำยางทั่วไปที่มีค่า Total Solid Content ประมาณ 40 % ซึ่งปริมาณน้ำดังกล่าว จะเป็นตัวกำหนด W/C ขั้นต่ำของส่วนผสม หากต้องการ W/C ที่ต่ำกว่านี้ ต้องหาวิธีการดึงน้ำออกจากส่วนผสม ซึ่งจะมีความยุ่งยากมากในทางปฏิบัติ หรือใช้น้ำยางที่มีค่า % TSC สูงขึ้น

เมื่อผสมน้ำยางตามสัดส่วน ตั้งแต่ P/C = 0.05 ถึง 0.25 และผสมสารลดแรงตึงผิว ในสัดส่วน 4 % โดยน้ำหนักของซีเมนต์ที่ใช้ จะพบว่า การยุบตัวของคอนกรีตจะเป็นแบบการยุบตัวฮวบ (Collapse Slump) ทั้งหมด ขณะที่คอนกรีตที่ไม่ผสมน้ำยางและสารลดแรงตึงผิว จะมีค่าการยุบตัวที่ 7 ซม. การยุบตัวแบบฮวบ อาจมีสาเหตุเนื่องจากมีน้ำผสมมากเกินไป แต่สาเหตุในกรณีนี้ น่าจะเป็นผลจากการผสมสารลดแรงตึงผิวมากกว่า อย่างไรก็ตาม การใช้คอนกรีตลักษณะนี้จะต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากจะมีแนวโน้มที่จะเกิดการแยกตัวได้ง่าย ทั้งนี้ มีข้อน่าสังเกตว่า ลักษณะความชื้นเหลวเมื่อพิจารณาด้วยสายตา น่าจะมีค่าการยุบตัวใกล้เคียงคอนกรีตปกติ แต่กลับพบว่า เมื่อทำการทดสอบจริง ค่าการยุบตัวจะอยู่ที่ประมาณ 20.0 ซม. และเป็นการยุบตัวแบบฮวบ

5.6 กำลังรับแรงของคอนกรีต

การผสมน้ำยางธรรมชาติในคอนกรีต พบว่า ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดลดลงประมาณ 60 % และการผสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ก็จะมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากฟองอากาศที่ไม่สามารถจัดให้ลดลงได้มากถึงระดับที่น่าพอใจ การเลือกใช้สัดส่วน P/C ที่เหมาะสมจึง

อาจต้องพิจารณาค่ากำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) ร่วมกับความเหมาะสมกับงานแต่ละประเภท ทั้งนี้ ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีต ที่มีปริมาณน้ำยางสูงๆ จะมีเส้นใยขนาดเล็ก (Micro Fibers) สีขาว กระจายทั่วเนื้อคอนกรีตอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งประสบผลเป็นที่น่าพอใจ โดยรอยวิบัติจะไม่แยกหลุดออกจากกันในทันทีเหมือนคอนกรีตธรรมดาทั่วไป

กำลังรับแรงดัดของคอนกรีต จะมีแนวโน้มที่ลดลงประมาณ 10 % ในแต่ช่วงค่า P/C ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มแห้งในอากาศเพิ่มเป็น 14 วัน และ 28 วัน จะพบว่า กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตจะสูงขึ้นมากกว่าคอนกรีตปกติ ที่ P/C = 0.15 และ 0.20 อาจเนื่องจากน้ำในคอนกรีตได้ระเหยออกไปมากแล้ว จนอนุภาคของเนื้อยางเริ่มทำหน้าที่ได้ดีขึ้นโดยเกาะตัวกันเป็นชั้นฟิล์ม (Film) ที่แข็งแรงขึ้น และเกาะกระจายตัวกันทั่วเนื้อคอนกรีต อย่างไรก็ตาม ที่ค่า P/C = 0.25 กลับมีกำลังไม่สูงขึ้น อาจเนื่องจากการมีฟองอากาศมากเกินไป

5.7 ส่วนผสมคอนกรีตที่แนะนำ

จากผลการศึกษา ส่วนผสมคอนกรีตกับน้ำยางธรรมชาติสดที่เหมาะสม (W/C=0.4, P/C=0.15, %TSC = 40) ซึ่งจะได้กำลังรับแรงอัด มากกว่า 45 ksc และกำลังรับแรงดัด มากกว่า 30 ksc (มากกว่าคอนกรีตปกติ P/C=0) ที่อายุ 14 วัน ขึ้นไป หลังการบ่มชื้นแล้ว 7 วัน สำหรับคอนกรีต 1 ลบ.ม. จะประกอบด้วย

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภท 1 ตราช้าง	343	กก.
ทราย	686	กก.
หิน	1,371	กก.
น้ำ	60	กก.
สารลดแรงตึงผิว	14	กก.
น้ำยางธรรมชาติสด (%TSC = 40)	129	กก.

ทั้งนี้ ในส่วนผสมดังกล่าว ยังสามารถลดค่า W/C ลงได้อีกเป็น 0.3 (ที่ P/C = 0.25 ต้องลดปริมาณน้ำในส่วนผสมลง ซึ่งจะมีความยุ่งยากมากขึ้น ทั้งนี้ อาจเลือกใช้น้ำยางข้นแทนได้) คุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตจะดีขึ้นได้ สำหรับการใช้งานคอนกรีตผสมน้ำยางนี้ ยังไม่เหมาะสมกับงานโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัดมากๆ แต่อาจจะเหมาะสมกับงานซ่อมแซมมากกว่า เนื่องจากความสามารถในการยึดเหนี่ยวของน้ำยาง น่าจะมีประโยชน์ในด้านการเป็นตัวประสานกับคอนกรีตเดิม หรืออาจทำเป็นคอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนัง ซึ่งจะไม่ได้รับแรงอัดมาก

5.8 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาในอนาคต

เนื่องจากการจัดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ยังไม่ประสบผลสำเร็จเป็นที่น่าพอใจ จึงควรศึกษาเพิ่มเติมถึงวิธีการในการจัดอย่างได้ผล โดยต้องมีค่าใช้จ่ายในเกณฑ์ที่สามารถผลิตเพื่อใช้งานจริงได้ ซึ่งคาดว่าหากแก้ปัญหานี้ได้ คอนกรีตจะมีกำลังอัดที่สูงขึ้นใกล้เคียงคอนกรีตปกติ แล้วสามารถนำมาใช้ในงานโครงสร้างอื่นๆ ได้ต่อไป ไม่ว่าจะเป็นงานอาคาร หรืองานถนนก็ตาม อย่างไรก็ตาม ควรศึกษาถึงความทนทาน (Durability) ในการใช้งานในระยะยาว รวมถึงความสามารถในการใช้งานร่วมกับเหล็กเสริมด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, เอกสารงานวิจัย การพัฒนาปลอกบูพื้น และยางขวางถนนจากยางพารา 2545

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม,
www.environnet.in.th/evdb/science/technology/download/524.pdf, สืบค้นเมื่อ 4 ส.ค. 2547

กล้าณรงค์ ศรีรอด และคณะ, 2547, บทสรุปสถานภาพและการจัดลำดับความสำคัญของโครงการวิจัย
แห่งชาติ ด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, คณะกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติ สาขาเกษตรศาสตร์
และชีววิทยา, พิมพ์ครั้งที่ 1, อักษรสยามการพิมพ์, กทม.

โกศล จริงสูงเนิน, 2528, การเตรียมน้ำยางสด, ว. ยางพารา, หน้า 9

ณัฐสม สงวนวงษ์, 2546, การวิเคราะห์และวิจัยคุณสมบัติด้านกำลังของมอร์ตาร์และคอนกรีตที่ผสมด้วย
สาร *Polymer Latex*, รายงานฉบับที่ วพ. 201, สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง, กรมทางหลวง

ประสาท เกศพิทักษ์ และคณะ, 2545, “ยางพารา” ผสม “ยางมะตอย” สร้างถนน อีกวิธีแก้ปัญหา.....
ยางล้นตลาด, เดลินิวส์ 2 มีนาคม 2545 หน้า 22, http://digital.lib.kmutt.ac.th/news_content.php?n_id=109#2150, สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2547

ผลจิต บัวแก้ว, 2531, สารเคมีผสมน้ำยาง, กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากยาง, ศูนย์วิจัยยางสงขลา,
กรมวิชาการเกษตร

วินิต ช่อวิเชียร, 2539, คอนกรีตเทคโนโลยี, ป. สัมพันธ์พาณิชย์, พิมพ์ครั้งที่ 8

สถาบันวิจัยยาง, กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ข้อมูลวิชาการยางพารา,
<http://www.rubberthai.com/>, สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2547

เสาวนีย์ ก่ออุทัยกุลรังษี, 2546, การผลิตยางธรรมชาติ (*Natural Rubber Production*), ภาควิชาเทคโนโลยี
ยางและพอลิเมอร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย, 2535, *การผสมสารเคมีลงในน้ำยาง เพื่อให้ได้ความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด*, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, 2538, *คอนกรีตแนวใหม่ (Concrete of New Decade)*, www.thaiengineering.com, โยธาสาร, สืบค้นเมื่อ 25 ต.ค. 2546

Blackley D.C., n.d., *Polymer Lattices Vol. 3: Latex and Cement*, Second Edition, p 591-606

Bond A.E. and Critchley Ltd., British Patent 369, 561, 17 March 1932

Budinski, Kenneth, 1979, *Engineering Materials: Properties & Selection*

Cresson, L., British Patent 191, 474, 12 January 1923

John, C.K., 1974, A Novel Method of Stabilizing Hevea Latex, *Journal Rubber Inst., Malaysia*, 24(2), p 111

Neville, A.M.; Brooks, J.J.; 1990 *Concrete Technology*

Ohama, Y., Principle of Latex Modification and some Typical Properties of Latex-Modified Mortars and Concretes, *ACI Materials Journal* (November-December 1987), Title No. 84-M45, p 511-518

Panek, Julian R. and Cook, John Philip, 1984, *Construction Sealants and Adhesives*

Walters, D. Gerry, What are latexes?, *Concrete International: Design and Construction*, Vol. 9, No. 12 (December 1987), p 44-47

Woo, C.H., 1973, Rubber Coagulation by Enzymes of Hevea Brasiliensis Latex, *Journal Rubber Inst., Malaysia*, 23(5), p 323

Yunping Xi, Yue Li, Zhaohui Xie and Jae S. Lee, n.d., *Utilization of Solid Wastes (Waste Glass and Rubber Particles) as Aggregates in Concrete*, Colorado University, USA.

Available at: www.ctre.iastate.edu/pubs/sustainable/xiwastes.pdf, Accessed December 3, 2004.

การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต

USING NATURAL RUBBER FOR DEVELOPMENT OF CONCRETE WORKS

ลิทธิชัย ศิริพันธุ์ (Sitthichai Siriphun)¹

พิทักษ์ บุญนุ่น (Pitak Bunnun)²

กิตถาวร โลหะ (Kittaworn Loha)³

อนรรักษ์ กำเนิดัว (Anurak Gamnerdvam)⁴

^{1,2}อาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตศรีวิชัย อ.ขนอม จ.นครศรีธรรมราช s_siriphun@hotmail.com

^{3,4}นักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตศรีวิชัย อ.ขนอม จ.นครศรีธรรมราช

บทคัดย่อ : การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการนำยางธรรมชาติมาใช้ในการพัฒนางานคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการผสมที่เหมาะสม โดยพิจารณาความสามารถได้ และกำลังรับแรงของคอนกรีตผสมน้ำยางในสัดส่วน P/C = 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 ตามลำดับ ส่วนผสมคอนกรีตใช้ ซีเมนต์: ทราย: หิน เป็น 1:2:4 โดยน้ำหนัก โดยบ่มขึ้น 7 วัน และบ่มแห้งในอากาศที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ ผลการวิจัย พบว่า น้ำยางผสมกับคอนกรีตได้ ด้วยการผสมสารลดแรงตึงผิว ชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) 4 % โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ด้านความสามารถได้ พบว่า คอนกรีตจะยุบตัวแบบฮวบ (Collapse Slump) ทั้งหมด ในด้านกำลัง พบว่า คอนกรีตจะมีกำลังรับแรงอัดลดลงประมาณ 60 % และมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น โดยลักษณะการวิบัติ จะมีเส้นใยขนาดเล็ก (Micro Fibers) สีขาวยืดยาว สำหรับกำลังรับแรงดัด พบว่า ลดลงประมาณ 10 % ในแต่ละค่า P/C ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มแห้งในอากาศเพิ่มเป็น 14 และ 28 วัน ที่ P/C = 0.15 และ 0.20 กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตจะสูงขึ้นมากกว่าคอนกรีตปกติ จากผลการวิจัย เสนอแนะให้เลือกใช้ที่ W/C = 0.4 และ P/C = 0.15 ซึ่งจะได้กำลังรับแรงดัด > 30 ksc ที่อายุบ่มแห้ง 14 วัน ขึ้นไป อย่างไรก็ตาม การขจัดฟองอากาศและการก่อตัวซ้ำในคอนกรีต ยังเป็นปัญหาที่ควรศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนากำลังคอนกรีตต่อไป

ABSTRACT : This research concerned the using of natural rubber (NR) for development of concrete works. The purposes were to study the method for mixing NR and concrete together with consideration of workability and strength properties. While the proportion of concrete with polymer cement ratio (P/C) was mixed at 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 and 0.25 respectively. The proportion of concrete itself was 1:2:4 for cement: sand: aggregate by weight. It was tested after moist curing 7 days and dry curing at 3, 7, 14, and 28 days respectively. This research was found that concrete must be added with 4 % nonionic surfactants by cement weight. All NR concrete was collapse slump. NR concrete decreased by 60 % approximately. Also, the more P/C was added, the strength trended to decrease. However, the failure of NR concrete was constrained by micro fibers. For flexural strength, it decreased by 10 % approximately with increase of P/C ratio. However, after concrete was cured for 14 and 28 days at P/C = 0.15 and 0.20, the flexural strength was higher than normal concrete. In conclusion, the using was recommended W/C = 0.4 and P/C = 0.15 after dry curing 14 days or more. However, air entrained and delays of setting time are problems. These need to be studied more for improvement.

KEYWORDS : Natural Rubber Concrete, Mortar, Polymer Cement

1. บทนำ

ในวงการวิศวกรรมโยธา ได้มีความพยายามที่จะศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุในงานก่อสร้างให้มีความสะดวกในการใช้งาน แข็งแรง น้ำหนักเบา ส่งเสริมการใช้วัสดุภายในประเทศ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยวัสดุคอนกรีตจัดว่าเป็นวัสดุที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในวงการวิศวกรรมโยธา โดยในอนาคตการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแนวใหม่ (Concrete of New Decade) มีแนวโน้มที่จะเน้นถึงพฤติกรรมใน 4 สมรรถนะหลัก คือ ความสามารถเทได้ กำลังของคอนกรีต ความทนทาน และการใช้งานพิเศษ [1] ที่ผ่านมามีส่วนใหญ่นักวิจัยได้มีการพัฒนาโดยการผสมวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นเพื่อชดเชยคุณสมบัติด้อยบางประการของคอนกรีต รวมถึงวิธีการอื่นๆ ซึ่งพบว่าประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี จากการศึกษาในสหรัฐอเมริกาโดย Yunping Xi และคณะ แห่งมหาวิทยาลัย Colorado ที่ทำการศึกษาโดยการประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติจากวัสดุเหลือใช้ (Waste) เป็นส่วนประกอบในคอนกรีต ที่เรียกว่า Rubber Modified Concrete (RMC) พบว่า ทำให้คอนกรีตสูญเสียกำลังน้อยลง และผิวคอนกรีตยังมีความแข็งแรงมากขึ้น [2] นอกจากการใช้วัสดุเหลือใช้มาพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตแล้ว ยังได้มีการศึกษาถึงการใช้น้ำยางธรรมชาติมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตสด เพื่อใช้เป็นวัสดุปูผิวถนน อย่างไรก็ตาม การศึกษาอื่นๆ ในส่วนของการพัฒนากำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) ของคอนกรีตยังไม่ประสบผลเท่าที่ควร ดังเห็นได้จากการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กปัจจุบัน ยังคงออกแบบให้เหล็กรับแรงดึงเพียงอย่างเดียว (ไม่รวมคอนกรีต) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานคล้ายกาว ทำหน้าที่เชื่อมติดวัสดุมวลรวมเข้าด้วยกัน [3] แต่ยังคงขาดคุณสมบัติในการยืดหยุ่น (Flexibility) ที่ดี คณะผู้วิจัย จึงมีความสนใจที่จะนำวัสดุบางอย่างที่มีในท้องถิ่น และสามารถผลิตได้อย่างยั่งยืน โดยมีคุณสมบัติคล้ายกาวและน่าจะมีคุณสมบัติยืดหยุ่นที่ดีมาพัฒนางานคอนกรีต

จากประเด็นดังกล่าวข้างต้น คณะผู้วิจัย จึงเลือกศึกษายางธรรมชาติ (ยางพารา) ที่มีในท้องถิ่น เนื่องจากสามารถผลิตได้อย่างยั่งยืน และยางพารายังมีคุณสมบัติคล้ายกาวเหมือนซีเมนต์เพสต์ แต่จะมีความยืดหยุ่นและความเหนียวที่ดีกว่ามาก มาประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีต เพื่อให้ได้ผลที่อาจเป็นทางเลือกใหม่ในงานวิศวกรรมโยธา อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่ายางธรรมชาติที่มีอยู่ภายในประเทศอีกด้วย

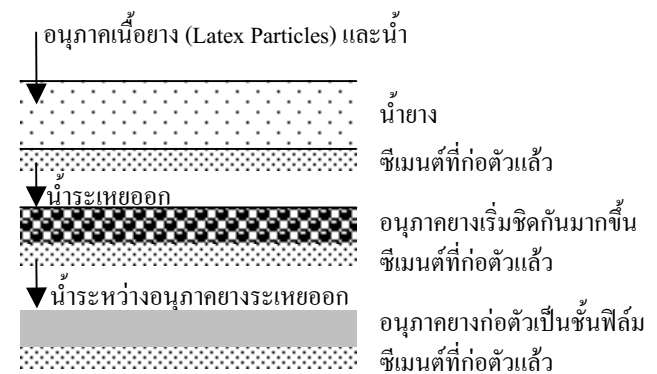
2. ผลการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

น้ำยางธรรมชาติ (ยางพารา) เป็นสารประกอบในกลุ่มพอลิเมอร์ (Polymer) ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อยชนิดเดียวที่ซ้ำๆ กัน เป็นจำนวนมาก มีคุณสมบัติที่สำคัญด้านความยืดหยุ่นดี จึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานหลายด้าน เช่น ด้านวิศวกรรมยานยนต์ ด้านการแพทย์ และด้านวิศวกรรมโยธา ฯลฯ

ประเทศไทย ได้เริ่มมีการนำน้ำยางธรรมชาติ มาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมโยธา ในส่วนของงานทางแล้วอย่างได้ผล ตั้งแต่ พ.ศ. 2500 จากการศึกษาของแขวงทางหลวงสงขลา และศูนย์วิจัยยางพารา [4] ที่ได้ทดลองใช้ยางพาราผสมแอสฟัลต์ลาดถนน ในจังหวัดสงขลา ช่วงหนึ่งบนถนนสาย 407 หาดใหญ่-สงขลา ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ร่วมกันศึกษาการใช้ยางพาราผสมแอสฟัลต์ ในสัดส่วน 5% ของปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ ได้ทดลองปูถนนกว้าง 6 เมตร ระยะทาง 1 กิโลเมตร พบว่าการผสมยางพาราทำให้ถนนมีความยืดหยุ่นดี และคงทนกว่าถนนที่ใช้เพียงแอสฟัลต์อย่างเดียวถึง 2 เท่า [4]

จากการศึกษา ใน ค.ศ. 1987 โดย Ohama ได้มีการอธิบายการก่อตัว ของคอนกรีตผสมน้ำยาง [5] ว่า น้ำยางที่ใช้ผสมจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Emulsion) โดยอนุภาคของ Polymer จะแขวนลอยอยู่ในน้ำยางเหลว ซึ่งเมื่อผสมน้ำยางเข้ากับคอนกรีตแล้ว จะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น 2 ส่วน คือ 1. ปฏิกิริยา Hydration จากซีเมนต์ผสมกับน้ำ และ 2. ปฏิกิริยาการก่อตัวเป็นฟิล์ม (Film) ที่เกิดจากอนุภาค Polymer มารวมตัวกัน (Coalesce) ซึ่งการก่อตัวของชั้นฟิล์ม เสมือนเป็นเนื้อเดียวกันกับคอนกรีต ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสาน (Binder) ระหว่างมวลรวมเข้าด้วยกันเป็นคอนกรีต ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการก่อตัวของชั้นฟิล์มจากน้ำยางในคอนกรีต

3. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 3.1 เพื่อศึกษาความสามารถในการเท และกำลังรับแรงของคอนกรีตเมื่อผสมน้ำยางธรรมชาติ
- 3.2 เพื่อหาวิธีการใช้น้ำยางธรรมชาติที่เหมาะสมในงานคอนกรีต
- 3.3 เพื่อหาปริมาณน้ำยางธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับผสมคอนกรีต

4. ขอบเขตการวิจัย

- 4.1 ระยะเวลาการวิจัยทั้งสิ้น 6 เดือน (กันยายน 2547-มีนาคม 2548)
- 4.2 ศึกษาวิจัยเฉพาะการใช้น้ำยางธรรมชาติ จากยางพารา
- 4.3 ใช้แอมโมเนียเหลว (NH_3) เข้มข้น 15% ผสมน้ำยาง เพื่อรักษาเสถียรภาพน้ำยาง
- 4.4 สัดส่วนผสมคอนกรีต 1:2:4 โดยน้ำหนัก
- 4.5 ใช้ปูนซีเมนต์ Type I ทรายล้าง ตลอดการวิจัย
- 4.6 กำหนด Water/Cement เท่ากับ 0.6
- 4.7 มวลรวม (ทรายและหิน) ใช้ในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)

5. วิธีการวิจัย

- 5.1 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม
- 5.2 กำหนดให้ใช้น้ำยางธรรมชาติสด โดยการคำนวณเพื่อแปรปริมาณจะอยู่บนฐานของค่า % TSC (Total Solid Content) เป็นหลัก ดังสมการที่ (1) เนื่องจากมีความสะดวกในการทดสอบมากกว่าค่า % DRC (Dry Rubber Content) [6] แล้วผสมกับคอนกรีตสัดส่วน 1:2:4 (ซีเมนต์: ทราย: หิน) โดยน้ำหนัก โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type I ทรายล้าง และกำหนด W/C = 0.6

$$\%TSC = \left[1 - \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) \right] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

- % TSC คือ ร้อยละของสารที่เป็นของแข็งทั้งหมด
- W_1 คือ น้ำหนักของน้ำยางธรรมชาติสดก่อนอบ (กรัม)
- W_2 คือ น้ำหนักของยางธรรมชาติหลังอบ (กรัม)

- 5.3 คอนกรีตจะต้องผสมสารลดแรงดึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) ในปริมาณ 4 % ของน้ำหนักซีเมนต์ที่ใช้

เพื่อไม่ให้น้ำยางจับตัวกันเร็วเกินไป สารที่เลือกใช้คือ Lutensol[®] XL80

- 5.4 น้ำยาง จะต้องผสมสารรักษาสภาพน้ำยาง (Preservative) การวิจัยนี้เลือกใช้สารแอมโมเนียเหลว เข้มข้น 15% ในสัดส่วน 3 % ของน้ำหนักน้ำยาง ซึ่งหาได้ง่ายในท้องถิ่นและราคาถูก
- 5.5 เมื่อผสมคอนกรีตตามที่กำหนดแล้ว จึงทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test) จากนั้นจึงหล่อเข้าแบบมาตรฐาน (รูปลูกบาศก์ และรูปคาน) แล้วทำการบ่มขึ้นเป็นเวลา 7 วัน ทุกตัวอย่าง จากนั้นจึงบ่มแห้งในอากาศต่อ กำหนดให้บ่มในอากาศเพิ่มเป็นเวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ แล้วจึงทดสอบค่า Compressive Strength และ Flexural Strength ทั้งนี้ จะศึกษาเปรียบเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐานที่ไม่ผสมยางธรรมชาติด้วย
- 5.6 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

6. ผลการศึกษา

6.1 ลำดับการผสม และสารผสมเพิ่มที่ควรใช้

ลำดับการผสมและสารผสมเพิ่ม ที่ได้นำมาใช้เพิ่มในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อแก้ปัญหาการจับตัวของน้ำยางที่เร็วเกินไป การก่อตัวที่ช้าลงของคอนกรีต และการเกิดฟองอากาศ โดยการศึกษาลำดับการผสม และสารผสมเพิ่มที่ควรใช้ที่เหมาะสมที่สุด โดยการผสมมอร์ต้าเป็นตัวอย่าง จะสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน ใช้วัสดุในปริมาณน้อย ประหยัด และสะดวกในการผสมด้วยมือ แทนการผสมคอนกรีตจริง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลำดับการผสม สารผสมเพิ่มที่ใช้ กับความเข้ากันได้ของมอร์ต้าและน้ำยาง

รูปแบบลำดับการผสม (ซีเมนต์+ทราย ก่อน)	P/C Ratio				
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
น้ำ--น้ำยาง	×	×	×	×	×
น้ำ+น้ำยาง	×	×	×	×	×
น้ำ+สารเร่งการก่อตัว--น้ำยาง	✓	✓	×	×	×
น้ำ+สารเร่งการก่อตัว+น้ำยาง	×	×	×	×	×
น้ำ+สารลดแรงดึงผิว--น้ำยาง	✓	✓	✓	✓	✓
น้ำ--สารลดแรงดึงผิว+น้ำยาง	✓	✓	✓	✓	✓
	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ

- × : เข้ากันไม่ได้ (≤ 5 นาที), ✓ : เข้ากันได้ชั่วขณะ (≤ 10 นาที)
และ ✓✓ : เข้ากันได้ดีเหมือนมอร์ต้าปกติ

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่า การผสมน้ำด้วยแอมโมเนีย เมื่อนำมาผสมกับส่วนผสมมอร์ตาร์ จะเข้ากันไม่ได้ แม้ว่าลำดับการผสมจะเป็นเช่นใดก็ตาม สำหรับการแก้ปัญหาคือการหั่นการก่อตัวของซีเมนต์จากผลของน้ำ โดยเลือกใช้สารเร่งการก่อตัวของซีเมนต์ พบว่า สามารถใช้ได้กับส่วนผสมที่ผสมน้ำในปริมาณน้อย คือ P/C ไม่เกิน 0.10 หากมากกว่านี้แล้ว ก็เข้ากันไม่ได้เช่นกัน ทั้งนี้ การใช้สารเร่งการก่อตัวควรใช้ผสมกับน้ำก่อนแล้วผสมในส่วนผสมมอร์ตาร์ แล้วสุดท้ายค่อยผสมน้ำอย่างเป็นลำดับสุดท้าย จะได้ผลที่ดีกว่าการผสมรวมในคราวเดียว ในส่วนของการใช้สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ ไม่ว่าจะผสมด้วยลำดับแบบใด และใช้น้ำในสัดส่วนใด (P/C = 0.05 ถึง 0.25) มอร์ตาร์ก็สามารถเข้ากันได้ดีทั้งหมด อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่า การผสมสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ จะทำให้ส่วนผสมมอร์ตาร์มีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมาก ทั้งนี้ ผลการทดสอบมอร์ตาร์ในส่วนนี้ สามารถเทียบเคียงได้กับการทดสอบคอนกรีต (มอร์ตาร์+หิน=คอนกรีต)

6.2 ผลกระทบจากสารเคมีรักษาเสถียรภาพน้ำยาง

การใช้น้ำยางธรรมชาติผสมคอนกรีต จำเป็นที่จะต้องใส่สารเคมีรักษาเสถียรภาพน้ำยาง เพื่อไม่ให้ยางสูญเสียสภาพก่อนการผสมในเบื้องต้น ได้เลือกที่จะนำสารเคมีมาใช้ 2 ตัว คือ 1. แอมโมเนียเหลว (NH₃) เข้มข้น 15% และ 2. บอแรกซ์ (Na₂B₂O₇·10H₂O) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใส่ทั่วไปในโรงงานน้ำยาง อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องศึกษาถึงอิทธิพลของสารเคมีทั้ง 2 ตัวดังกล่าวต่อกำลังรับแรงของคอนกรีต ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของแอมโมเนีย (NH₃) และ/หรือบอแรกซ์ (Na₂B₂O₇·10H₂O) กับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ซีเมนต์: ทราย: หิน = 1:2:4 โดยน้ำหนัก, W/C = 0.6, บ่มขึ้น 14 วัน				
ตัวอย่างทดสอบรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐาน ขนาด 15×15×15 ซม.				
สารผสมเพิ่มในคอนกรีต	กำลังรับแรงอัด (ksc) ที่อายุ 14 วัน			
	No. 1	No. 2	No. 3	เฉลี่ย
ไม่ผสมสารใดๆ	252.78	227.38	213.24	231.13
แอมโมเนีย 20%	292.77	296.90	312.19	300.62
บอแรกซ์ 5%	256.20	245.56	222.26	241.34
แอมโมเนีย 20% บอแรกซ์ 5%	257.70	265.45	258.65	260.60

หมายเหตุ ร้อยละของสารเคมีที่ผสม คัดจากน้ำที่ต้องใช้ทั้งหมด
ทั้งนี้ ต้องลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมลงในปริมาณที่เท่ากันนี้ด้วย

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ทั้งสารแอมโมเนีย และบอแรกซ์ที่ผสมในคอนกรีต ไม่มีผลในการทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ลดลงแต่อย่างใด ในทางกลับกัน กลับพบว่า การใช้สารแอมโมเนียผสมในคอนกรีต ยิ่งทำให้คอนกรีตรับกำลังอัดได้สูงขึ้น ประมาณ 30 % อาจเนื่องจากการที่ค่า W/C ลดลง จากการแทนที่น้ำด้วยแอมโมเนียเหลว 20 % ซึ่งเป็นที่ทราบว่าแอมโมเนียจะเป็นสารที่ระเหยตัวเร็ว ดังนั้น หากเลือกใช้สารเคมีดังกล่าวนี้เพื่อรักษาเสถียรภาพน้ำยาง จึงสามารถยืนยันได้ว่าจะไม่ส่งผลในทางลบต่อกำลังของคอนกรีต

6.3 ความสามารถเทได้

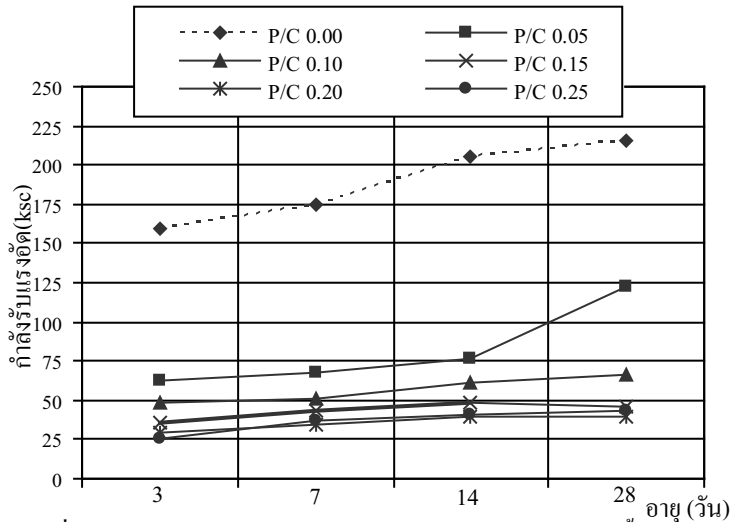
จากตารางที่ 1 ในการวิจัย จึงเลือกใช้วิธีการผสม โดยการผสมซีเมนต์กับทรายก่อน แล้วจึงใส่หิน จากนั้นจึงใส่น้ำที่ผสมสารลดแรงตึงผิวแล้ว เมื่อคอนกรีตเข้ากันได้ดีแล้ว จึงใส่น้ำยางเป็นลำดับสุดท้าย โดยการผสมจะใช้ไม้ผสม (Tilting Mixer) สำหรับความสามารถเทได้ของคอนกรีต สามารถวัดได้ทางอ้อมโดยการทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test) ตามมาตรฐาน ASTM C143 หนึ่ง ขอบเขตการวิจัย ที่ได้กำหนดให้ใช้ค่า W/C = 0.6 ตลอดการวิจัยนั้น พบว่า ไม่สามารถใช้ได้ เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่คอนกรีตมีความเหลวเกินไป ทำให้คอนกรีตมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก (คล้ายฟองเบียร์) ดังรูปที่ 2 เพื่อลดปัญหาดังกล่าว จึงต้องลด W/C เป็น 0.4 ซึ่งพบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ทั้งนี้ ในทางทฤษฎี ยังสามารถลดค่า W/C ลงได้อีก แต่มีข้อจำกัดในทางปฏิบัติ จากปริมาณน้ำที่มีประมาณ 60 % ในน้ำยางที่มีค่า %TSC ประมาณ 40 % ซึ่งปริมาณน้ำดังกล่าว จะเป็นตัวกำหนด W/C ขั้นต่ำของส่วนผสม



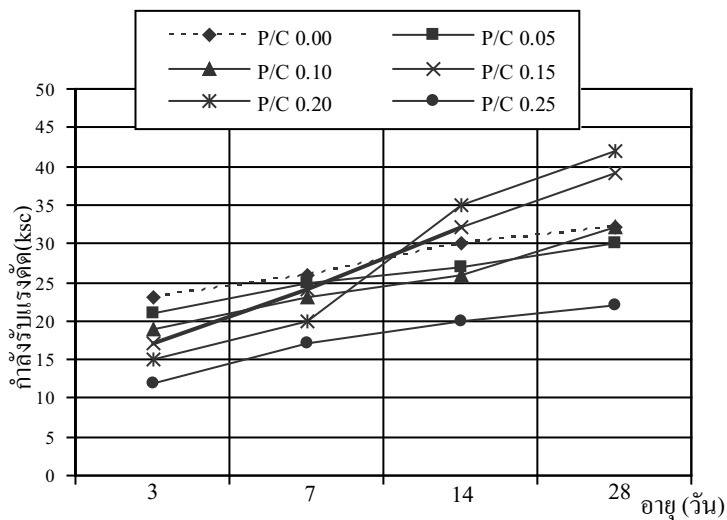
รูปที่ 2 ฟองอากาศจำนวนมากในคอนกรีตที่ W/C = 0.6 ผสมน้ำยาง

6.4 กำลังรับแรงของคอนกรีต

ในส่วนของการทดสอบหากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) และกำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) ของคอนกรีตผสมน้ำยางธรรมชาติ ตามสัดส่วนต่างๆ เทียบกับคอนกรีตปกติ ได้ผลดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุ (บ่มแห้งในอากาศ) หลังจากบ่มขึ้นแล้ว 7 วัน กับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ตามค่า P/C ที่ต่างกัน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุ (บ่มแห้งในอากาศ) หลังจากบ่มขึ้นแล้ว 7 วัน กับกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต ตามค่า P/C ที่ต่างกัน

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่า การผสมน้ำยางธรรมชาติในปริมาณที่เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ก็จะมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ การเลือกใช้สัดส่วน P/C ที่เหมาะสมจึงอาจต้องพิจารณาค่ากำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) ร่วมกับความเหมาะสมสำหรับงานแต่ละประเภท ทั้งนี้ ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีต ที่มีปริมาณน้ำยางสูงๆ จะมีเส้นใยขนาดเล็ก (Micro Fibers) สีขาว กระจายทั่วเนื้อคอนกรีตอย่างเห็นได้ชัด

และจากรูปที่ 4 จะเห็นว่า กำลังรับแรงดัดของคอนกรีต จะมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อค่า P/C มากขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มแห้งในอากาศเพิ่มเป็น 14 วัน และ 28 วัน จะพบว่า กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตจะสูงขึ้นมาก ขณะที่ค่า P/C สูงขึ้น อาจเนื่องจากน้ำในคอนกรีตได้ระเหยออกไปมากแล้ว จนอนุภาคของเนื้อยางเริ่มทำหน้าที่ได้ดีขึ้นโดยเกาะตัวกันเป็นชั้นฟิล์ม (Film) ที่แข็งแรงขึ้น และเกาะกระจายตัวกันทั่วเนื้อคอนกรีต ดังตัวอย่างที่แสดงแล้วในรูปที่ 4.8 อย่างไรก็ตาม ที่ค่า P/C = 0.25 กลับมีกำลังไม่สูงขึ้น อาจเนื่องจากการมีฟองอากาศมากเกินไป

7. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

การผสมคอนกรีตร่วมกับน้ำยางธรรมชาติ สามารถทำการผสมด้วยไม้ผสม (Tilting Mixer) เหมือนคอนกรีตทั่วไป ที่สำคัญต้องใช้สารลดแรงตึงผิว แบบไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้ผลิตภัณฑ์ Lutensol[®] XL 80 โดยผสมในสัดส่วน 4 % โดยน้ำหนักของซีเมนต์ที่ใช้ทั้งหมด เมื่อคอนกรีตเข้ากันดีแล้วจึงผสมน้ำยางธรรมชาติเป็นลำดับสุดท้าย อนึ่ง ฟองอากาศที่เกิดขึ้นในส่วนผสม สามารถลดได้ด้วยการใช้ W/C = 0.4 ซึ่งพบว่า ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ทั้งนี้ ในทางทฤษฎี สามารถลดค่า W/C ลงได้อีก แต่มีข้อจำกัดในทางปฏิบัติ จากปริมาณน้ำที่มีประมาณ 60 % ในน้ำยางทั่วไปที่มีค่า Total Solid Content ประมาณ 40 % ซึ่งปริมาณน้ำดังกล่าว จะเป็นตัวกำหนด W/C ขั้นต่ำของส่วนผสม

เมื่อผสมคอนกรีตกับน้ำยางตามสัดส่วน ตั้งแต่ P/C = 0.05 ถึง 0.25 จะพบว่า คอนกรีตจะยุบตัวฮวบ (Collapse Slump) ทั้งหมด การยุบตัวแบบฮวบ อาจมีสาเหตุเนื่องจากการผสมสารลดแรงตึงผิว ดังนั้น การใช้คอนกรีตลักษณะนี้จะต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากจะมีแนวโน้มแยกตัวได้ง่าย

การผสมน้ำยางธรรมชาติในคอนกรีต พบว่า ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดลดลงประมาณ 60 % และการผสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ก็จะมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากฟองอากาศที่ไม่สามารถจัดให้ลดลงได้ การเลือกใช้สัดส่วน P/C ที่เหมาะสมจึงอาจต้องพิจารณาค่ากำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) ร่วมกับความเหมาะสมกับงานแต่ละประเภท ทั้งนี้ ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีต ที่มีปริมาณน้ำยางสูงๆ จะมีเส้นใยขนาดเล็ก (Micro Fibers) สีขาว กระจายทั่วเนื้อคอนกรีตอย่างเห็นได้ชัด โดยรอยวิบัติจะไม่แยกหลุดออกจากกันในพื้นที่เหมือนคอนกรีตธรรมดาทั่วไป

กำลังรับแรงดัดของคอนกรีต จะมีแนวโน้มที่ลดลงประมาณ 10 % ในแต่ละช่วงค่า P/C ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มแห้งในอากาศเพิ่มเป็น 14 วัน และ 28 วัน จะพบว่า กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตจะสูงขึ้นมากกว่าคอนกรีตปกติ ที่ $P/C = 0.15$ และ 0.20 อาจเนื่องมาจากน้ำในคอนกรีตได้ระเหยออกไปมากแล้ว จนอนุภาคของเนื้อยางเริ่มทำหน้าที่ได้ดีขึ้นโดยเกาะตัวกันเป็นชั้นฟิล์ม (Film) ที่แข็งแรงขึ้น และเกาะกระจายตัวกันทั่วเนื้อคอนกรีต อย่างไรก็ตาม ที่ค่า $P/C = 0.25$ กลับมีกำลังไม่สูงขึ้น อาจเนื่องจากการมีฟองอากาศมากเกินไป

ข้อเสนอแนะในการผสมคอนกรีตกับน้ำยางธรรมชาติที่ $W/C=0.4$ และ $P/C=0.15$ ซึ่งจะได้กำลังรับแรงอัด มากกว่า 45 ksc และกำลังรับแรงดัด มากกว่า 30 ksc ที่อายุ 14 วัน ขึ้นไป หลังการบ่มขึ้นแล้ว 7 วัน สำหรับคอนกรีต 1 ลบ.ม. จะประกอบด้วย

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภท 1 ตราช้าง	343 กก.
ทราย	686 กก.
หิน	1,371 กก.
น้ำ	60 กก.
สารลดแรงตึงผิว	14 กก.
น้ำยางธรรมชาติ	129 กก.

ทั้งนี้ ในส่วนผสมดังกล่าว ยังสามารถลดค่า W/C ลงได้อีกเป็น 0.3 (ที่ $P/C = 0.25$ ต้องลดปริมาณน้ำในส่วนผสมลง ซึ่งจะมีผลความยุ่งยากมากขึ้น) คุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตจะดีขึ้นได้สำหรับการใช้งานคอนกรีตผสมน้ำยางนี้ ยังไม่เหมาะกับงานโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัดมากๆ แต่อาจจะเหมาะกับงานซ่อมแซมมากกว่า เนื่องจากความสามารถในการยึดเหนี่ยวของน้ำยางน่าจะมีประโยชน์ในด้านการเป็นตัวประสานกับคอนกรีตเดิมหรืออาจทำเป็นคอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนัง ซึ่งจะไม่ได้รับแรงอัดมาก

8. ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาในอนาคต

เนื่องจากการจัดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ยังไม่ประสบผลสำเร็จเป็นที่น่าพอใจ จึงควรศึกษาเพิ่มเติมถึงวิธีการในการจัดอย่างได้ผล โดยต้องมีค่าใช้จ่ายในเกณฑ์ที่สามารถผลิตเพื่อใช้งานได้ ซึ่งคาดว่าหากแก้ปัญหานี้ได้ คอนกรีตจะมีกำลังอัดที่สูงขึ้นใกล้เคียงคอนกรีตปกติ แล้วสามารถนำมาใช้ในงานโครงสร้างอื่นๆ ได้ต่อไป ไม่ว่าจะเป็นงานอาคาร หรืองานถนนก็ตาม อย่างไรก็ตาม ควรศึกษาถึงความทนทาน (Durability) ในการใช้

งานในระยะยาว รวมถึงความสามารถในการใช้งานร่วมกับเหล็กเสริมด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงสำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพโรจน์ ศิริรัตน์ ผู้ประสานงาน สำนักประสานงานชุดโครงการวิจัย “การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา” และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรัส คิษฐ์แก้ว ผู้อำนวยการวิทยาเขตศรีวิชัย ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านในคณะวิชาโยธา โดยเฉพาะ อ. ภาณุ พร้อมพุดทงกูร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, 2538, คอนกรีตแนวใหม่ (Concrete of New Decade), www.thaiengineering.com, โยธาสาร, สืบค้นเมื่อ 25 ต.ค. 2546
- [2] Yunping Xi, Yue Li, Zhaohui Xie and Jae S. Lee, Utilization of Solid Wastes (Waste Glass and Rubber Particles) as Aggregates in Concrete, Colorado University, USA, www.ctre.iastate.edu/pubs/sustainable/xi/wastes.pdf
- [3] Cresson, L., British Patent 191, 474, 12 January 1923
- [4] สถาบันวิจัยยาง, กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ข้อมูลวิชาการยางพารา, กรุงเทพมหานคร, 2544
- [5] Ohama, Y., Principle of Latex Modification and some Typical Properties of Latex-Modified Mortars and Concretes, ACI Materials Journal (November-December 1987), Title No. 84-M45, p 511-518
- [6] อรสา ภัทรไพฑูรย์ชัย, 2535, การผสมสารเคมีลงในน้ำยาง เพื่อให้ได้ความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อ สกว.

รายงานการวิจัยเรื่อง “การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต” ฉบับนี้ เป็นเพียงจุดเริ่มต้นเล็กๆ ของการศึกษาเพื่อจะนำน้ำยางธรรมชาติมาใช้ในการงานคอนกรีต โดยคณะผู้วิจัยเป็นผู้ที่อยู่ในสาขาของงานวิศวกรรมโยธาเท่านั้น จึงเป็นข้อจำกัดสำคัญประการหนึ่งในการดำเนินงานวิจัย อย่างไรก็ตาม โครงการวิจัยต่อเนื่องจากโครงการนี้ ที่อาจจะได้รับการสนับสนุนจาก สกว. ต่อไปนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเชิญนักวิจัยในสาขาอื่นร่วมด้วย โดยเฉพาะในสาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ ซึ่งก็มีอยู่แล้วจำนวนหนึ่งในกลุ่มนักวิจัยของโครงการวิจัยแห่งชาติยางพารา (ข้อมูลและข้อเสนอแนะจากสำนักประสานงานชุดโครงการวิจัย “การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา”) เพื่อดำเนินการวิจัยอย่างเชื่อมโยงแบบสหสาขาวิชาต่อไป