



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต

Using Natural Rubber for Development of Concrete Works

โดย

สิทธิชัย ศิริพันธุ์ และคณะ

มีนาคม 2548

สัญญาเลขที่ RDG 4750047

## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

### โครงการ

### การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต

### Using Natural Rubber for Development of Concrete Works

#### คณะผู้วิจัย

#### สังกัด

นายสิทธิชัย ศิริพันธุ์

คณะวิชาโยธา

นายพิทักษ์ บุญนุ่น

คณะวิชาไฟฟ้า

นายกิจฉาวรร โลหะ

นักศึกษา คณะวิชาโยธา

นายอนุรักษ์ กำเนิดว่า

นักศึกษา คณะวิชาโยธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตศรีวิชัย

ชุดโครงการวิจัย การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

## บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการนำน้ำยางธรรมชาติมาใช้ในการพัฒนางานคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเทคนิคการผสมน้ำยางในคอนกรีตอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาถึงความสามารถเทได้ และกำลังรับแรงของคอนกรีตผสมน้ำยางสดในสัดส่วน  $P/C = 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$  และ  $0.25$  ตามลำดับ ส่วนผสมคอนกรีตใช้ ซีเมนต์: ทราย: หิน เป็น  $1:2:4$  โดยน้ำหนัก แล้วหาค่าความสามารถเทได้ (Workability) จากนั้นจึงหล่อเข้าแบบมาตรฐานรูปลูกบาศก์  $15 \times 15 \times 15$  ซม. และรูปคาน  $15 \times 15 \times 75$  ซม. เพื่อหาล้างรับแรงอัด (Compressive Strength) และกำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) ตามลำดับ โดยบ่มขึ้น 7 วัน ตามด้วยบ่มแห้งในอากาศที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

ผลการวิจัย พบว่า น้ำยางผสมกับคอนกรีตได้ ด้วยการผสมสารลดแรงตึงผิว ชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) สัดส่วน 4 % โดยน้ำหนักของซีเมนต์ โดยเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ Lutensol<sup>®</sup> XL 80 ( $C_{10}$  - Guerbet Alcohol Alkoxylate) ทั้งนี้ สารแอมโมเนียเหลว ( $NH_3$ ) ที่ผสมในน้ำยาง ไม่ทำให้กำลังคอนกรีตลดลง ด้านความสามารถเทได้ พบว่า คอนกรีตผสมน้ำยาง จะยุบตัวแบบสวบ (Collapse Slump) ทั้งหมด ขณะที่คอนกรีตปกติ จะมีค่าการยุบตัวที่ 7 ซม. ในด้านกำลัง พบว่า คอนกรีตผสมน้ำยาง จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงประมาณ 60 % และกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต มีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น โดยลักษณะการวิบัติของคอนกรีตที่มีปริมาณน้ำยางสูง จะมีเส้นใยขนาดเล็ก (Micro Fibers) สีขาว ยึดรั้งไว้ สำหรับกำลังรับแรงดัด พบว่า ลดลงประมาณ 10 % ในแต่ละค่า  $P/C$  ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มแห้งในอากาศเพิ่มเป็น 14 และ 28 วัน ที่  $P/C = 0.15$  และ  $0.20$  กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตจะสูงขึ้นมากกว่าคอนกรีตปกติ เนื่องจากอนุภาคน้ำยางเกาะตัวกันเป็นชั้นฟิล์ม (Film) ที่แข็งแรงขึ้น

สรุปส่วนผสมคอนกรีตกับน้ำยางสด เสนอแนะให้เลือกใช้ที่  $W/C = 0.4$  และ  $P/C = 0.15$  ซึ่งจะได้กำลังรับแรงอัด  $> 45$  ksc และกำลังรับแรงดัด  $> 30$  ksc ที่อายุบ่มแห้ง 14 วัน ขึ้นไป ตัวอย่างส่วนผสมคอนกรีตปริมาตร 1 ลบ.ม. ประกอบด้วย ซีเมนต์:ทราย:หิน:น้ำ:สารลดแรงตึงผิว:น้ำยางสด (%TSC 40) = 343: 686:1,371:60:14:129 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตาม การใช้งานคอนกรีตผสมน้ำยาง ยังไม่เหมาะกับงานโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัดมาก แต่อาจเหมาะกับงานซ่อมแซม เนื่องจากการยึดเหนี่ยวของน้ำยาง จะมีประโยชน์ในการเป็นตัวประสานกับคอนกรีตเดิม หรือเหมาะกับงานคอนกรีตบล็อกสำหรับก่อบนึ่งที่ไม่รับแรงอัดมาก อย่างไรก็ตาม การขจัดฟองอากาศและการก่อตัวซ้ำในคอนกรีต ยังเป็นปัญหาสำคัญที่ควรศึกษาเพิ่มเติม เพื่อพัฒนาให้คอนกรีตมีกำลังอัดและการก่อตัวใกล้เคียงคอนกรีตปกติ จึงสามารถนำมาใช้ในงานโครงสร้างอื่นได้ต่อไป

## ABSTRACT

This research concerns the using fresh natural rubber (NR) for development of concrete works. The purposes of this research were to study the finding method for mixing them together with consideration of workability and strength properties. The proportion of concrete itself was 1:2:4 for cement: sand: aggregate by weight. Then, 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. After, the mixed concrete was tested the slump test and cast them in standard moulds (Cubic = 15×15×15 cm and Beam = 15×15×75 cm). Finally, the hardened concrete was tested to determine the compressive and flexural strength properties. The strength test was done after moist cured 7 days and dry cured at 3, 7, 14, and 28 days respectively.

The research found that concrete must be added with 4 % nonionic surfactants by cement weight. Lutensol<sup>®</sup> XL 80 (C<sub>10</sub> – Guerbet Alcohol Alkoxylate) was selected. And liquid ammonia (NH<sub>3</sub>) was mixed in NR that was not decrease concrete strength. All NR concrete was collapse slump. While, the normal concrete was 7 cm true slump. For compressive strength, NR concrete decreased by 60 % approximately. Also, the more P/C was added, the strength trended to decrease. However, the failure of NR concrete with high P/C was constrained by white 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 because polymer particles were attached by tight film.

In Conclusion, the using was recommended W/C = 0.4 and P/C = 0.15 which gave > 45 ksc of compressive strength and > 30 ksc of flexural strength after dry cured 14 days or more. Example of mixed proportion of 1 m<sup>3</sup> of NR concrete was 343: 686: 1,371: 60: 14: 129 for cement: sand: aggregate: water: nonionic surfactants: fresh natural rubber (%TSC 40) by weight. Therefore, it is not suitable for compressive structures but maybe suitable for repairable works because the capacity of NR constrained to hardened concrete by micro fibers. However, many problems occurred such as air entrained and delay of setting time. Those need to be studied more for improvement.

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้ จะไม่สามารถสำเร็จได้ หากไม่ได้รับการสนับสนุนทุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ผู้อำนวยการสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ศ.ดร. ปิยะวัติ บุญ-หลง ผู้อำนวยการฝ่ายอุตสาหกรรม รศ. ดร. สุธีระ ประเสริฐสรรพ รวมถึงสำนักประสานงานชุดโครงการวิจัย “การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา” ผศ. ไพโรจน์ คีรีรัตน์ และ ดร. อรสา ภัทรไพบุญย์ชัย ที่ได้ให้โอกาสและความไว้วางใจแก่ คณะผู้วิจัย ให้ดำเนินการศึกษาในเรื่องนี้

ขอขอบพระคุณ อ.บรรเจิด กาญจนเจตน์ ผู้อำนวยการวิทยาเขตศรีวิชัย และผู้บริหารวิทยาเขตทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนและโอกาสในการทำงานวิจัยอย่างเต็มที่ รวมถึงอาจารย์ทุกท่านในคณะวิชาโยธา ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งในทุกๆ ด้าน โดยเฉพาะ อ.ภาณุ พร้อมพุดธางกูร หัวหน้าสาขาเทคโนโลยีโยธา ที่ได้ช่วยเหลือในการจัดทำรายงานบางส่วน และ อ.ดุสิต ชูพันธ์ หัวหน้าแผนกวิชาช่างก่อสร้าง ที่ได้ช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือของห้องปฏิบัติการอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณนักศึกษาแผนกวิชาช่างก่อสร้างทุกคน ที่ได้ช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยในหลายส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นายณัฐวุฒิ สมทรง และนายต่อตระกูล ชันแจ้ง

คณะผู้วิจัย  
มีนาคม 2548

## สารบัญ

|                 | หน้า |
|-----------------|------|
| บทคัดย่อ        | I    |
| ABSTRACT        | II   |
| กิตติกรรมประกาศ | III  |
| สารบัญ          | IV   |

### บทที่

|   |                |    |
|---|----------------|----|
| 1 | บทนำ           | 1  |
| 2 | บททวนเอกสาร    | 4  |
| 3 | วิธีการวิจัย   | 13 |
| 4 | ผลการวิจัย     | 16 |
| 5 | สรุปผลการวิจัย | 26 |

### เอกสารอ้างอิง

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อ สกว.

### ภาคผนวก

- ก     สำเนาใบเสนอราคาของสารกลุ่ม Trimethylcyclohexyl Alcohol
- ข     ตัวอย่างรายการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- ค     บทความวิจัยสำหรับเผยแพร่ และสำเนาบทความวิจัยที่ได้เผยแพร่แล้ว
- ง     ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผน และกิจกรรมที่ดำเนินการ  
และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

ในวงการวิศวกรรมโยธา ได้มีความพยายามที่จะศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุในงานก่อสร้างให้มีความสะดวกในการใช้งาน แข็งแรง น้ำหนักเบา ส่งเสริมการใช้วัสดุภายในประเทศ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยวัสดุคอนกรีตจัดว่าเป็นวัสดุที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในวงการวิศวกรรมโยธา โดยในอนาคต การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแนวใหม่ (Concrete of New Decade) ที่จะเกิดขึ้น มีแนวโน้มที่จะเน้นถึงพฤติกรรมใน 4 สมรรถนะหลัก คือ 1. ความสามารถทำได้ (Workability) 2. กำลังของคอนกรีต (Strength) 3. ความทนทาน (Durability) และ 4. การใช้งานพิเศษ (Special Works) (เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, 2538) ที่ผ่านมามีส่วนใหญ่นักวิจัยได้มีการพัฒนาโดยการผสมวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นเพื่อชดเชยคุณสมบัติของบางประการของคอนกรีต รวมถึงวิธีการอื่นๆ ซึ่งพบว่าประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี จากการศึกษานานาชาติโดย Yunping Xi, Yue Li, Zhaohui Xie และ Jae S. Lee แห่งมหาวิทยาลัย Colorado ที่ทำการศึกษาศึกษาโดยการประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติจากวัสดุเหลือใช้ (Waste) เป็นส่วนประกอบในคอนกรีต ที่เรียกว่า Rubber Modified Concrete (RMC) พบว่า ทำให้คอนกรีตสูญเสียกำลังน้อยลง และผิวคอนกรีตยังมีความแข็งแรงมากขึ้น (Yunping Xi, et al., n.d.) นอกจากการใช้วัสดุเหลือใช้มาพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตแล้ว ยังได้มีการศึกษาถึงการใช้น้ำยางธรรมชาติมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตสด เพื่อใช้เป็นวัสดุปูผิวถนน อย่างไรก็ตาม การศึกษาอื่นๆ ในส่วนของการพัฒนากำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) ของคอนกรีตยังไม่ประสบผลเท่าที่ควร ดังเห็นได้จากการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กปัจจุบัน ยังคงออกแบบให้เหล็กรับแรงดึงเพียงอย่างเดียว (ไม่รวมคอนกรีต) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานคล้ายกาว ทำหน้าที่เชื่อมติดวัสดุมวลรวมเข้าด้วยกัน (Cresson, 1923) แต่ยังคงขาดคุณสมบัติในการยืดหยุ่น (Flexibility) ที่ดี คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำวัสดุบางอย่างที่มีในท้องถิ่น และสามารถผลิตได้อย่างยั่งยืน โดยมีคุณสมบัติคล้ายกาวและน่าจะมีความยืดหยุ่นที่ดีมาพัฒนางานคอนกรีต

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

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาความสามารถในการเท และกำลังรับแรงของคอนกรีตเมื่อผสมน้ำยางธรรมชาติ
- 1.2.2 เพื่อหาวิธีการใช้น้ำยางธรรมชาติที่เหมาะสมในงานคอนกรีต
- 1.2.3 เพื่อหาปริมาณน้ำยางธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับผสมคอนกรีต

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ระยะเวลาการวิจัยทั้งสิ้น 6 เดือน (กันยายน 2547-มีนาคม 2548)
- 1.3.2 ศึกษาวิจัยเฉพาะการใช้น้ำยางธรรมชาติ จากยางพารา (น้ำยางสด)
- 1.3.3 ใช้แอมโมเนียเหลว ( $\text{NH}_3$ ) เข้มข้น 15% ผสมน้ำยาง เพื่อรักษาเสถียรภาพน้ำยาง
- 1.3.4 สัดส่วนผสมคอนกรีต 1:2:4 โดยน้ำหนัก
- 1.3.5 ใช้ปูนซีเมนต์ Type I トラ้าง ตลอดจนการวิจัย
- 1.3.6 กำหนด Water/Cement (W/C) เท่ากับ 0.6
- 1.3.7 มวลรวม (ทรายและหิน) ใช้ในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)

## 1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม
- 1.4.2 กำหนดให้ใช้น้ำยางธรรมชาติสด โดยการคำนวณเพื่อแปรปริมาณจะอยู่บนฐานของค่า % TSC (Total Solid Content) เป็นหลัก เนื่องจากมีความสะดวกในการทดสอบมากกว่าค่า % DRC (Dry Rubber Content) (อรสา ภัทรไพบุญชัย, 2535) แล้วผสมกับคอนกรีตสัดส่วน 1:2:4 (ซีเมนต์: ทราย: หิน) โดยน้ำหนัก โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type I トラ้าง และกำหนด  $W/C = 0.6$
- 1.4.3 คอนกรีตจะต้องผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) ในปริมาณ 4 % ของน้ำหนักซีเมนต์ที่ใช้ เพื่อไม่ให้น้ำยางจับตัวกันเร็วเกินไป สารที่เลือกใช้คือ Lutensol<sup>®</sup> XL80 ( $\text{C}_{10}$  - Guerbet Alcohol Alkoxylate)
- 1.4.4 น้ำยาง จะต้องผสมสารรักษาสภาพน้ำยาง (Preservative) การวิจัยนี้เลือกใช้สารแอมโมเนียเหลว เข้มข้น 15% ในสัดส่วน 3 % ของน้ำหนักน้ำยาง ซึ่งหาได้ง่ายในท้องถิ่นและราคาถูก
- 1.4.5 เมื่อผสมคอนกรีตตามที่กำหนดแล้ว จึงทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test) จากนั้นจึงหล่อเข้าแบบมาตรฐาน (รูปลูกบาศก์ และรูปคาน) แล้วทำการบ่มขึ้นเป็นเวลา 7 วัน ทุกตัวอย่าง จากนั้นจึงบ่มแห้งในอากาศต่อ กำหนดให้บ่มในอากาศเพิ่มเป็นเวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ แล้วจึงทดสอบค่า Compressive Strength, Flexural Strength ทั้งนี้ จะศึกษาเปรียบเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐานที่ไม่ผสมยางธรรมชาติด้วย
- 1.4.6 วิเคราะห์ผลการวิจัย จากความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.4.7 จัดทำรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ พร้อมสรุปผลการวิจัย

## **1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ**

1.5.1 ทราบแนวทางการใช้น้ำอย่างธรรมชาติในส่วนผสมคอนกรีต

1.5.2 ทราบวิธีการใช้น้ำอย่างธรรมชาติที่เหมาะสมในงานคอนกรีต

1.5.3 ทราบคุณสมบัติการรับแรง และความสามารถเทได้ เมื่อผสมน้ำอย่างธรรมชาติในสัดส่วนต่างๆ กัน

1.5.4 ทราบปริมาณน้ำอย่างธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับผสมคอนกรีต

## บทที่ 2

### ทบทวนเอกสาร

#### 2.1 กล่าวนำ

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) จัดเป็นทรัพยากรที่ทำรายได้หลักให้กับประเทศไทย แต่ส่วนใหญ่จะส่งออกในรูปของวัตถุดิบ ซึ่งมีราคาต่อหน่วยต่ำ เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีองค์ความรู้ที่จะใช้ในงานที่หลากหลายมากนัก วิธีการสร้างองค์ความรู้ในงานด้านอื่นๆ จึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติ บทนี้จะกล่าวถึง 1. สถานการณ์ยางธรรมชาติในประเทศไทย 2. ตัวอย่างการใช้ยางธรรมชาติในงานวิศวกรรมโยธา 3. การใช้น้ำยาง (Latex) ในงานคอนกรีต 4. สมบัติของน้ำยางธรรมชาติ 5. การเก็บรักษาน้ำยางธรรมชาติ และ 6. แนวทางเบื้องต้นของการผสมน้ำยางธรรมชาติในคอนกรีตสด ตามลำดับ

#### 2.2 สถานการณ์ยางธรรมชาติในประเทศไทย

ประเทศไทย เป็นประเทศที่สามารถผลิตยางธรรมชาติได้สูงที่สุดในโลก ประมาณ 2,500,000 ตัน/ปี คิดเป็น 1 ใน 3 ของทั่วโลก อย่างไรก็ตาม ยางธรรมชาติที่ส่งออกต่างประเทศกว่า 90 % อยู่ในรูปของยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และน้ำยางข้น ซึ่งจัดเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปขั้นปฐมภูมิ คิดเป็นมูลค่า 46,700 ล้านบาท ส่วนปริมาณยางธรรมชาติอีกประมาณ 10 % ที่เหลือ จะถูกใช้ในประเทศเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่สำคัญสำหรับใช้เอง และรวมถึงการส่งออก โดยเฉพาะยางรถยนต์ ถู่มือ และเครื่องมือทางการแพทย์ คิดเป็นมูลค่า 48,500 ล้านบาท (กล้าณรงค์ ศรีรอด และคณะ, 2547) ประเทศไทยจึงได้รับการยอมรับว่าเป็นผู้นำด้านการส่งออกยาง อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่ายางธรรมชาติ สามารถถูกเพิ่มมูลค่าได้ถึงประมาณ 9 เท่าตัว ถ้าหากในอนาคต ประเทศไทยสามารถขยายการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศรวมถึงการส่งออกในรูปของผลิตภัณฑ์ขั้นสูงได้ทั้งหมด ซึ่งหมายถึงว่า จะมีรายได้เป็นมูลค่าทั้งสิ้นประมาณ 485,000 ล้านบาท/ปี (กรณีมีตลาดรองรับทั้งหมด) ทั้งนี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยองค์ความรู้ที่ได้จากการค้นคว้า วิจัย และพัฒนา จากการระดมสมองของทรัพยากรมนุษย์ในแบบสห-สาขาวิชา เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ที่เชื่อมโยงกันอย่างบูรณาการ เพื่อนำพาประเทศสู่การเป็นผู้นำด้านอุตสาหกรรมยางในโลก

การสร้างองค์ความรู้ใหม่ รวมถึงการต่อยอดความรู้เดิมที่มีอยู่แล้ว เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ยางธรรมชาติร่วมด้วย ที่น่าจะศึกษาอย่างจริงจังและต่อเนื่องในหลายด้าน เช่น ด้านการแพทย์ ด้านวิศวกรรมยานยนต์ และด้านวิศวกรรมโยธา เป็นต้น การวิจัยในครั้งนี้ จะเกี่ยวข้องเฉพาะกับงานด้านวิศวกรรมโยธาเท่านั้น ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

## 2.3 ตัวอย่างการใช้ยางธรรมชาติในงานวิศวกรรมโยธา

ประเทศไทย ได้มีความพยายามในการประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติ ในงานที่หลากหลายขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้และเพิ่มมูลค่า ส่วนหนึ่งได้มีการนำมาใช้ในงานวิศวกรรมโยธา จากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัย พบว่า ใน พ.ศ. 2545 ได้มีการศึกษาโดยสถาบันวิจัยยาง ร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถึงการใช้ยางธรรมชาติเพื่อปรับปรุงคุณภาพยางมะตอย (Asphalt) ให้มีคุณสมบัติดีขึ้น ด้วยวิธีการหลายวิธี พบว่า เมื่อใช้น้ำยางธรรมชาติ ผสมกับยางมะตอย ชนิด AC 60/70 ในอัตรา ร้อยละ 6 (เนือยางแท้) ทำให้งามะตอยมีค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point) สูงขึ้น และคุณสมบัติอื่นๆ สามารถผ่านมาตรฐานข้อกำหนดของ มอก. 851-2532 การผสมยางพารากับยางมะตอยในอัตรา ร้อยละ 5 ต้องใช้งามพารา 1.5 ตันต่อการใช้งามมะตอย 30 ตัน การลาดผิวถนนที่มีหน้ากว้าง 6 เมตร (2 ช่องจราจร) เป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากการลาดผิวถนนที่ใช้งามมะตอย เพียงอย่างเดียวคิดเป็นร้อยละ 20 ของราคายางมะตอย เมื่อคำนวณแล้วค่าใช้จ่ายจะต้องเพิ่มขึ้น 78 บาท/ตัน ดังนั้น ในระยะทาง 1 กิโลเมตร จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 2,340 บาท (ประสาธ เกศวพิทักษ์ และคณะ, 2545) ทั้งนี้ ค่าใช้จ่ายอาจเพิ่มขึ้นในสถานการณ์ปัจจุบัน เนื่องจากราคายางที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ยางธรรมชาติดังกล่าว ก็เป็นเงินที่หมุนเวียนอยู่ภายในประเทศเท่านั้น

## 2.4 การใช้สำยาง (Latex) ในงานคอนกรีต

### 2.4.1 คุณสมบัติของคอนกรีตผสมสำยาง (Latex)

คอนกรีตผสมสำยาง (Latex) ได้มีการนำมาใช้กันมากในปัจจุบัน แต่สำยางที่ใช้จะเป็นสำยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber Latex) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งถูกคิดค้นและผลิตจากต่างประเทศ คอนกรีตผสมสำยาง จะมีการเรียกชื่อเฉพาะว่า “Latex Modified Concrete” หรือ “LMC” สำหรับคอนกรีตที่ได้จากการผสมสำยางเข้าไปด้วยนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดาทั่วไป พบว่า ยังมีข้อด้อยอยู่บ้าง ในเรื่องของการคืบ (Creep) เนื่องจากน้ำหนักของคอนกรีตเอง หรือน้ำหนักกระทำคงที่จากภายนอกร่วมด้วย อย่างไรก็ตาม ข้อเด่นก็มีมากในหลายประเด็น ดังต่อไปนี้ (Neville and Brooks, 1990)

- ความสามารถในการรับแรงดึงและแรงอัดสูงขึ้น
- น้ำซึมผ่านได้ยากขึ้น
- มีความทนทานต่อการกัดกร่อนโดยสารเคมีได้ดี
- สามารถยึดเกาะกับคอนกรีตเก่าที่แข็งตัวแล้ว (Hardened Concrete) ได้ดี จึงเหมาะกับการซ่อมแซม
- สำยางที่ใช้ผสม จะไม่เป็นพิษ (Nontoxicity) ต่อมนุษย์ และไม่ติดไฟ (Nonflammability)

- น้ำยางอยู่ในสภาพ Emulsion จึงง่ายต่อการเติมสารผสมเพิ่มอื่นๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพ จากคุณสมบัติที่ดีของคอนกรีตผสมน้ำยางสังเคราะห์ข้างต้น จะเป็นแนวทางหนึ่ง ที่ประเทศไทย ควรจะ หันมาศึกษา วิจัย และพัฒนายางธรรมชาติเพื่อจะนำมาใช้ผสมคอนกรีตในอุตสาหกรรมก่อสร้างบ้าง

#### 2.4.2 ประเภทของน้ำยางที่ใช้ในงานคอนกรีต

การศึกษาเพื่อนำน้ำยางมาใช้ในการงานคอนกรีต พบว่า ได้มีการศึกษามาแล้ว ตั้งแต่ ค.ศ. 1923 โดย Cresson ซึ่งเป็นคนแรกในประเทศอังกฤษที่จดสิทธิบัตร (Patent) ในการนำน้ำยางธรรมชาติ มาใช้เป็นส่วนผสม ของมอร์ต้า (Mortar) และคอนกรีตสด สำหรับใช้ในการงานปูผิวทาง (Paving Material) (Cresson, 1923) และใน ค.ศ. 1932 ได้มีการศึกษาโดยใช้ยางสังเคราะห์ โดย Bond ซึ่งได้ขอจดสิทธิบัตรในการนำน้ำยาง ที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic Rubber Latex) เพื่อใช้เป็นส่วนผสมของมอร์ต้า และคอนกรีตเช่นกัน (Bond, 1932)

ในต่างประเทศ พบว่า ส่วนใหญ่จะมีการพัฒนาโดยการนำน้ำยางจากการสังเคราะห์มาใช้กันมาก เช่น Polychloroprene Rubber Latex (Neoprene), Polyacrylic-Ester Latex, Polyvinyl Acetate-Latex และ Styrene-Butadiene Rubber Latex (SBR) ในบางประเทศ เช่น ญี่ปุ่น ได้เล็งเห็นความสำคัญของการใช้น้ำ ยางในงานคอนกรีต จึงมีการออกมาตรฐานเกี่ยวกับการทดสอบและควบคุมคุณภาพของน้ำยาง ที่จะนำ มาใช้ในการงานก่อสร้าง โดย Japanese Industrial Standard (JIS)

ในส่วนของน้ำยาง (Latex) ที่สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต แบ่งได้เป็น 5 ประเภท (Walters, 1987) ดังต่อไปนี้

1. Polymer Latex ซึ่งแยกได้ 5 ชนิด คือ Elastomeric Latex, Thermoplastic Latex, Thermosetting Latex, Bituminous Latex และ Mixed Latex
2. Powdered Emulsion
3. Water Soluble Emulsion
4. Liquid Resins
5. Monomer

จากน้ำยางทั้ง 5 ประเภท ดังกล่าวข้างต้น มีเพียงประเภทที่ 1 เพียงประเภทเดียว ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อการค้า สำหรับผสมคอนกรีต และปัจจุบัน จะใช้อยู่เพียง 2 ชนิด คือ Elastomeric Latex และ Thermoplastic Latex โดยแต่ละชนิด จะมีรายละเอียด (Panek and Cook, 1984 และ Budinski, 1979) ดังนี้

1. Elastomeric Latex ซึ่งแบ่งได้เป็น
  - Natural Rubber (NR)
  - Styrene-Butadiene (SB)

- Styrene-Butadiene Rubber (SBR)
- Polychloroprene (Neoprene)
- Acrylonitrile-Butadiene Rubber (NBR)

## 2. Thermoplastic Latex ซึ่งแบ่งได้เป็น

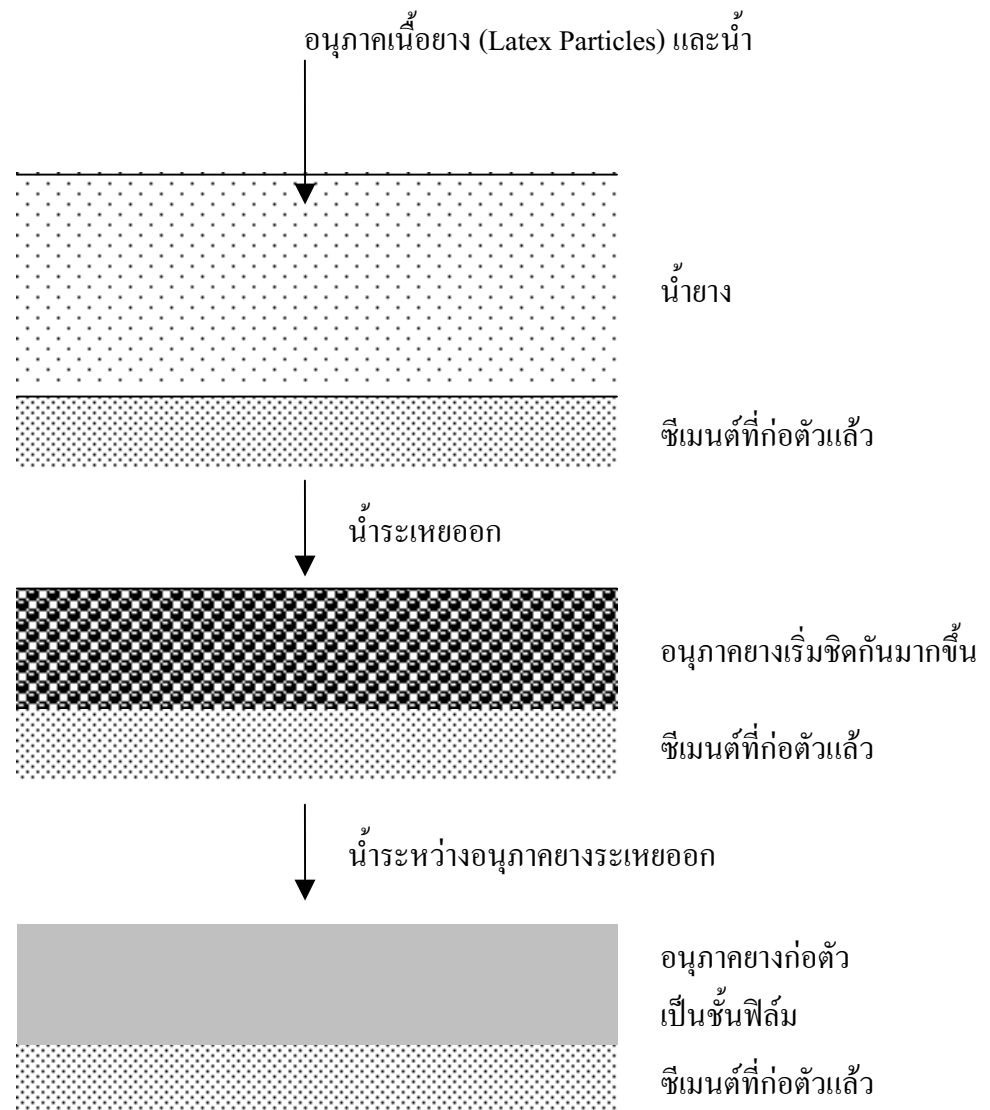
- Polyacrylic Ester (PAE)
- Styrene-Acrylic (SA)
- Ethylene Vinyl Acetate (EVA)
- Vinyl Acetate-Ethylene (VAE)
- Polyvinyl Acetate (PVAC)
- Polyvinylidene Chloride (PVDC)
- Vinyl Acetate-acrylic Copolymer (VAC)
- Polyvinyl Propionate
- Polyvinylene
- Pure Acrylic

จากประเภทและชนิดของน้ำยางข้างต้น จะเห็นว่ายางธรรมชาติ (Natural Rubber) ถูกจัดเป็นยางชนิดหนึ่งในกลุ่มของ Elastomeric Latex ซึ่งเป็นประเภทของน้ำยาง ที่นิยมใช้สำหรับผสมคอนกรีตในทางการค้า อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่า ในต่างประเทศได้พัฒนาน้ำยางสังเคราะห์มากกว่าที่จะพัฒนาน้ำยางจากธรรมชาติ เหตุผลหนึ่งอาจเกิดจากข้อจำกัดด้านทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่เอื้ออำนวยของต่างประเทศ แต่สำหรับประเทศไทยแล้ว ทรัพยากรน้ำยางธรรมชาติมีมากเพียงพอ จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่ประเทศไทยจะได้หันมาพัฒนาน้ำยางธรรมชาติสำหรับงานคอนกรีตมากขึ้น

### 2.4.3 กลไกการทำงานของน้ำยางในคอนกรีต

จากการศึกษา ใน ค.ศ. 1987 โดย Ohama ได้มีการอธิบายการก่อตัว ของคอนกรีตผสมน้ำยาง (Ohama, 1987) ว่า น้ำยางที่ใช้ผสมจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Emulsion) โดยอนุภาคของ Polymer จะแขวนลอยอยู่ในน้ำยางเหลว ซึ่งเมื่อผสมน้ำยางเข้ากับคอนกรีตแล้ว จะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น 2 ส่วน คือ 1. ปฏิกิริยา Hydration จากซีเมนต์ผสมกับน้ำ และ 2. ปฏิกิริยาการก่อตัวเป็นฟิล์ม (Film) ที่เกิดจากอนุภาค Polymer มารวมตัวกัน (Coalesce) ซึ่งการก่อตัวของชั้นฟิล์มนี้ จะเกิดขึ้นในช่วงใดนั้น ขึ้นอยู่กับการระเหยออกไปของน้ำในเนื้อคอนกรีต กล่าวคือ ถ้าน้ำระเหยออกไปเร็ว ชั้นฟิล์มนี้จะเกิดก่อนปฏิกิริยา Hydration ได้ ทั้งนี้ ผลจากทั้ง 2 ปฏิกิริยาดังกล่าว จะเกิดขึ้นปะปนกัน เสมือนเป็นเนื้อเดียวกัน

ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานหรือตัวยึด (Binder) ระหว่างมวลรวมละเอียด (ทราย) และมวลรวมหยาบ (หิน) เข้าด้วยกันเป็นคอนกรีต (รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการก่อตัวของชั้นฟิล์มจากน้ำยางในคอนกรีต)



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการก่อตัวของชั้นฟิล์มจากน้ำยางในคอนกรีต

#### 2.4.4 สารผสมเพิ่มในน้ำยางสำหรับผสมคอนกรีต

การนำน้ำยางธรรมชาติมาใช้งานในสถานะที่เป็นของเหลว หรือสารแขวนลอย ผสมคอนกรีต เพื่อให้ขั้นตอนการก่อตัวของชั้นฟิล์มเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ตามขั้นตอนในรูปที่ 2.1 นั้น โดยเฉพาะการทำให้

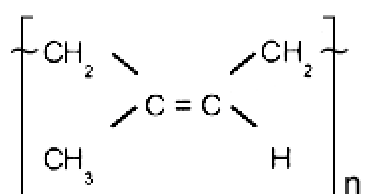
ยางก่อตัวช้ากว่าปฏิกิริยา Hydration หรือให้ซีเมนต์ก่อตัวก่อน จะต้องปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำยางให้ดีขึ้น โดยเฉพาะคุณสมบัติการมีเสถียรภาพต่ำของน้ำยาง (น้ำยางจับตัวกันเร็ว) วิธีการหนึ่งที่ได้รับการนิยมนำมาใช้กันทั่วไป คือ การใช้สารแอมโมเนียเหลว ( $\text{NH}_3$ ) ผสมในน้ำยาง เพื่อให้ น้ำยางคงความเหลวเอาไว้ได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เพื่อการผสมคอนกรีต ในทางปฏิบัติจะใช้ในปริมาณ 0.3-0.5 % ของปริมาณน้ำยาง (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2546 อ้าง Sekhar, 1976)

## 2.5 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติ

### 2.5.1 สมบัติทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางที่กรีดยังใหม่ หรือน้ำยางสด จะมีลักษณะเป็นสารแขวนลอย อนุภาคยางมีรูปร่างกลม หรือรูปลูกแพร์ มีขนาด 0.05 – 5.00 ไมครอน มีความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีค่าความเป็นกรด/ด่าง ประมาณ 6.5-7.0 ความหนืดประมาณ 12-15 centipoise อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุ และฤดูกาล (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2546)

ในทางเคมี ยางธรรมชาติ จัดเป็นสารประกอบในกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อยชนิดเดียวที่ซ้ำๆ กัน (Repeating Unit) เป็นจำนวนมาก มีสมบัติที่สำคัญ คือ ความยืดหยุ่น โครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม  $\text{C}_5\text{H}_8$  เรียกชื่อทางเคมีว่า “ไอโซพรีน (Isoprene)” (รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ) หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงเป็นโมเลกุล จะ เรียงตัวกันในแบบ cis-configuration เรียกชื่อโมเลกุลยางว่าเป็น “cis-1, 4-polyisoprene” มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ หนึ่งล้าน พืชที่ให้ น้ำยางสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงการค้าในรูปน้ำยาง คือ ยางพารา และยางวายยูเล่ แต่ที่ใช้ประโยชน์เชิงการค้ามากที่สุด คือ ยางพารา (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

(ที่มา: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, <http://www.rubberthai.com/>)

### 2.5.2 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติ มีส่วนประกอบต่างๆ ดังตารางที่ 2.1 (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2546) ซึ่งจะเห็นว่า ส่วนที่เป็นของแข็งทั้งหมด จะมากกว่าเนื้อยางแห้ง ประมาณ 3 % ซึ่งไม่ต่างกันมาก และสำหรับน้ำในส่วน

ประกอบจะมีประมาณ 60 % โดยน้ำในส่วนนี้จะต้องเป็นตัวแปรในการคำนวณส่วนผสมของคอนกรีตรวมด้วย

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2546)

| ส่วนประกอบ                | ร้อยละ              |
|---------------------------|---------------------|
| ส่วนที่เป็นของแข็งทั้งหมด | 27-48               |
| เนื้อยางแห้ง              | 25-45               |
| สารกลุ่มโปรตีน            | 1.0-1.5             |
| สารกลุ่มเรซิน             | 1.00-1.25           |
| จีเล้า                    | สูงถึง 1            |
| น้ำตาล                    | 1                   |
| น้ำ                       | ส่วนที่เหลือทั้งหมด |
| รวม                       | 100                 |

## 2.6 การเก็บรักษาน้ำยางธรรมชาติ

### 2.6.1 ความจำเป็นในการเก็บรักษาน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติ หลังจากกรีดยเสร็จจากต้น จะอยู่ในสภาพน้ำยางอยู่ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง ซึ่งหลังจากนั้น น้ำยางจะเริ่มจับตัวกันและค่อยๆ หนืดขึ้น จนสูญเสียสภาพและเกิดการบูดเน่าในที่สุด ดังนั้น การนำมาใช้จึงถูกจำกัดด้วยระยะเวลาที่สั้น จึงยังขาดความเหมาะสมในการใช้งาน ด้วยเหตุนี้ การเก็บรักษาน้ำยางให้อยู่ในสภาพเหลวจึงนับว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่ง

### 2.6.2 การสูญเสียสภาพของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางจะเกิดการสูญเสียสภาพได้ด้วยเหตุหลายปัจจัย เช่น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และความเสถียรของน้ำยางในแต่ละสายพันธุ์ (โกศล จริงสูงเนิน, 2528) โดยองค์ประกอบที่ทำให้ น้ำยางสูญเสียสภาพสามารถอธิบายโดยย่อ ได้ดังนี้

- แบคทีเรียในอากาศ และจากเปลือกของต้นยาง จะเข้าไปกินสารอาหารพวกน้ำตาลและโปรตีน โดยปริมาณของแบคทีเรียจะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้จะย่อยสลายให้สารที่เป็นกรดที่ระเหยง่าย ทำให้มีผลต่อค่า pH ของน้ำยาง ทำให้น้ำยางสูญเสียสภาพ (John, C.K., 1974)
- อนุมูลกรด ที่เกิดจากสารประกอบพวกไลโปดในน้ำยางที่ถูกไฮโดรไลซิสแล้ว จะเข้าแทนที่โปรตีนที่ห่อหุ้มผิวของอนุภาคยาง จากนั้นโลหะไอออนในน้ำยาง จะเข้าทำปฏิกิริยากับกรดดัง

กล่าว ทำให้เกิดเป็นเกล็ดของโลหะซึ่งไม่ละลายน้ำ น้ำยางจึงสูญเสียสภาพในที่สุด (Woo, C.H., 1973)

- เอนไซม์ ที่สลายโปรตีน ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า “Coagulase” โดยเมื่อทำปฏิกิริยากับโปรตีนที่ห่อหุ้มผิวของอนุภาคยางจนสลายไป ทำให้อนุภาคยางเกิดการสูญเสียสภาพ

การแก้ปัญหาการสูญเสียสภาพน้ำยางดังกล่าวข้างต้น ได้มีการนำสารเคมีมาใช้ ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

### 2.6.3 ชนิดของสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางธรรมชาติ

สารเคมีที่ใช้ในการรักษาสภาพน้ำยาง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามระยะเวลาของการรักษาสภาพ คือ

1. ระยะสั้น (Short Term Preservative) เก็บได้ประมาณ 2-3 วัน โดยใช้สารที่เรียกว่า “สารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant)” เช่น แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ และฟอร์มาลดีไฮด์
2. ระยะยาว (Long Term Preservative) เก็บได้ในระยะเวลายาวนานขึ้น โดยจะยังคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ โดยใช้สารที่เรียกว่า “สารรักษาสภาพน้ำยาง (Preservative)” เช่น แอมโมเนีย และสารรักษาสภาพน้ำยางลำดับรอง (Secondary Preservative) เช่น ซิงค์ออกไซด์ และกรดบอริก เป็นต้น ซึ่งจะเป็นสารผสมร่วมกับแอมโมเนียในบางกรณี

สารเคมีตัวที่ใช้กันทั่วไป คือ สารแอมโมเนีย ซึ่งในการวิจัยนี้ จะใช้สารเคมีตัวนี้ ในการรักษาสภาพน้ำยาง เนื่องจากหาได้ง่ายและราคาถูก

## 2.7 แนวทางเบื้องต้นของการผสมน้ำยางธรรมชาติในคอนกรีต

การนำน้ำยางธรรมชาติในสถานะเหลวผสมกับคอนกรีตนั้น จะใช้เฉพาะสารแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพของน้ำยางให้คงสภาพความเหลวอยู่ได้ อาจไม่เพียงพอ เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น (Heat of Hydration) ซึ่งความร้อนดังกล่าว จะเร่งให้สารแอมโมเนียที่อยู่ในน้ำยางระเหยออกอย่างรวดเร็ว (สภาวะอุณหภูมิปกติ แอมโมเนียก็ระเหยเร็วอยู่แล้ว) ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพทันที จากการศึกษาของ Pendle และ Gorton ซึ่งได้ศึกษาส่วนผสมน้ำยางกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พบว่า สารเคมีที่ต้องใช้ในการผสมเพิ่มนั้น จะประกอบด้วย Fatty Alcohol Ethoxylate ซึ่งเป็นสารประเภทลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) (Blackley, n.d., quoting Pendle and Gorton, n.d.) โดยราคาของสารกลุ่มนี้ไม่สูงมาก ประมาณ 100 บาทต่อกิโลกรัม นอกจากนั้น ยังพบว่า น้ำยางจะทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อคอนกรีต ซึ่งจะเป็นปัญหาในการรับแรงของคอนกรีต เนื่องจากฟองอากาศดังกล่าวจะทำให้เกิดโพรงในเนื้อคอนกรีต วิธีการแก้ปัญหา ได้มีการเสนอแนะให้

ใช้สาร Trimethylcyclohexyl Alcohol ซึ่งเป็นสารขจัดฟองอากาศ (Antifoaming Agent) (Blackley, n.d.) และจากการตรวจสอบจากบริษัทผู้จำหน่ายในประเทศ พบว่า สารดังกล่าวมีราคาสูงมาก จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน (ภาคผนวก ก แสดงสำเนาใบเสนอราคาของสารกลุ่ม Trimethylcyclohexyl Alcohol) วิธีการหนึ่งที่จะช่วยขจัดฟองอากาศในส่วนผสมคอนกรีตโดยทั่วไป ก็คือการลดน้ำในส่วนผสมให้น้อยลง ซึ่งอาจเป็นวิธีการทดแทนอีกวิธีการหนึ่งที่น่าจะเป็นไปได้

แนวทางที่กล่าวถึงข้างต้น เป็นเพียงแนวทางในเบื้องต้นเท่านั้น การดำเนินการผสมจริงจึงต้องทำการศึกษาวิจัย ให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนมากขึ้น ทั้งนี้ ปัญหาที่จะเกิดขึ้นจริงในขั้นตอนการผสม อาจส่งผลต่อวิธีการวิจัยที่จะต้องปรับเปลี่ยนตามสถานการณ์ของปัญหาต่อไป

## บทที่ 3

### วิธีการวิจัย

#### 3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

##### 3.1.1 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 กำหนดให้ใช้น้ำยางธรรมชาติสด โดยการคำนวณเพื่อแปรปริมาณจะอยู่บนฐานของค่า % TSC (Total Solid Content) เป็นหลัก เนื่องจากมีความสะดวกในการทดสอบมากกว่าค่า % DRC (Dry Rubber Content) ขณะที่ค่าที่ได้จะใกล้เคียงกัน (อรสา ภัทรไพบุญชัย, 2535)

$$\% \text{ TSC} = \{1 - (W_1 - W_2) / W_1\} * 100$$

เมื่อ % TSC คือ ร้อยละของสารที่เป็นของแข็งทั้งหมด

$W_1$  คือ น้ำหนักของน้ำยางธรรมชาติสดก่อนอบ (กรัม)

$W_2$  คือ น้ำหนักของยางธรรมชาติหลังอบ (กรัม)

วิธีการทดสอบหา % TSC ของน้ำยางธรรมชาติ ตามมาตรฐาน ASTM D1076 (Standard Specification for Rubber-Concentrated, Ammonia Preserved, Creamed and Centrifuged Natural Latex) มีขั้นตอนดังนี้

1. สุ่มตัวอย่างน้ำยางธรรมชาติมา  $2.5 \pm 0.5$  กรัม
2. อบตัวอย่างในเตาอบเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ  $70 \pm 2$  °C หรืออบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ  $100 \pm 2$  °C เพื่อความรวดเร็ว สำหรับการศึกษานี้ จะใช้การอบแบบหลัง

ค่า % TSC ที่ได้ จะนำมาใช้ในการคำนวณเพื่อกำหนดส่วนผสมคอนกรีต ดังตัวอย่างการคำนวณที่สมมติขึ้นต่อไปนี้

#### ตัวอย่าง

น้ำยางธรรมชาติ มีค่า % TSC เท่ากับ 40% เมื่อต้องการคำนวณหาสัดส่วนผสมคอนกรีต ในอัตราส่วน 1:2:4 (ซีเมนต์: ทราย: หิน) โดยน้ำหนัก และ W/C เท่ากับ 0.6 เพื่อให้ได้คอนกรีต 0.25 ลบ.ม. โดยกำหนดเริ่มต้นให้คอนกรีตที่ผสมต้องการเนื้อของแข็ง:ซีเมนต์ เท่ากับ 0.25:1 โดยน้ำหนัก

วิธีคิด คอนกรีต มีหน่วยน้ำหนักประมาณ 2,400 กก./ลบ.ม. ดังนั้น หากต้องการคอนกรีต 0.25 ลบ.ม. จะต้องชั่งคอนกรีตให้ได้ 600 กก. ดังนั้น สามารถจำแนกส่วนผสมออกได้เป็น

$$\text{ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน} = (1/7) \times 600 = 85.71 \text{ กก.}$$

$$\text{ทราย 2 ส่วน} = (2/7) \times 600 = 171.43 \text{ กก.}$$

$$\text{หิน 4 ส่วน} = (4/7) \times 600 = 342.86 \text{ กก.}$$

เมื่อกำหนด W/C เท่ากับ 0.6  $\therefore$  น้ำ =  $0.6 \times 85.71 = 51.43$  กก.

เนื้อของแข็งจากน้ำยางธรรมชาติ เท่ากับ 0.25:1 โดยน้ำหนัก (เนื้อของแข็ง: ซีเมนต์)

$$\therefore \text{ต้องได้เนื้อของแข็ง} = 0.25 \times 85.71 = 21.43 \text{ กก.}$$

$$\text{จึงต้องชั่งน้ำยางธรรมชาติให้ได้} = (100/40) \times 21.43 = 53.58 \text{ กก.}$$

ทั้งนี้ น้ำที่มีในน้ำยางธรรมชาติ จะต้องคิดหักออกจากปริมาณน้ำที่คำนวณไว้ เพื่อให้ W/C คงที่

$$\therefore \text{ต้องหักน้ำออก} = (60/100) \times 53.58 = 32.15 \text{ กก. จึงเหลือน้ำ} = 51.43 - 32.15 = 19.28 \text{ กก.}$$

จากการคำนวณ สรุปสัดส่วนได้ ดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ = 85.71 กก.
2. ทราย = 171.43 กก.
3. หิน = 342.86 กก.
4. น้ำ = 19.28 กก.
5. น้ำยางธรรมชาติ = 53.58 กก.

ในการวิจัยนี้ จะทำการผสมคอนกรีตสัดส่วน 1:2:4 (ซีเมนต์: ทราย: หิน) โดยน้ำหนัก โดยใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ Type I ตราช้าง ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป และกำหนด Water/Cement = 0.6 ทั้งนี้ น้ำจะต้องคิดรวมน้ำที่ผสมอยู่ในน้ำยางธรรมชาติด้วย เพื่อให้ทราบปริมาณน้ำที่ผสมคอนกรีตที่แน่นอน ซึ่งได้คำนวณแสดงตัวอย่างไว้แล้วข้างต้น สำหรับมวลรวมหยาบ (หิน) และมวลรวมละเอียด (ทราย) จะต้องอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry: SSD) เนื่องจากมวลรวมในสถานะดังกล่าว จะไม่ดูดซึมหรือคายน้ำสู่ส่วนผสมคอนกรีต จึงทำให้สามารถควบคุมปริมาณน้ำในคอนกรีตที่ผสมได้ (ทำให้ W/C คงที่)

ในส่วนของคุณสมบัติของเนื้อของแข็งที่ได้จากน้ำยางธรรมชาติ จะกำหนดเริ่มต้นให้คอนกรีตที่ผสมต้องการเนื้อของแข็ง โดยคิดเป็น เนื้อของแข็ง: ซีเมนต์ โดยน้ำหนัก โดยจะทำการศึกษาที่ 5 สัดส่วน คือ 0.05:1, 0.10:1, 0.15:1, 0.20:1 และ 0.25:1 ตามลำดับ (ภาคผนวก ข แสดงตัวอย่างรายการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์)

3.1.3 น้ำยางธรรมชาติที่นำมาศึกษา จะต้องผสมสารรักษาสภาพน้ำยาง (Preservative) เพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพ และการบูดเน่า ในการวิจัยนี้ ไม่จำเป็นต้องเก็บน้ำยางไว้นานเกิน 1 วัน (24 ชั่วโมง) เนื่องจากสถานที่ศึกษาอยู่ในแหล่งทรัพยากรยาง จึงหาได้ง่าย และไม่ต้องขนส่งไกล การวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารแอมโมเนียเหลวเข้มข้น 15 % ในสัดส่วน 3 % ของน้ำหนักน้ำยาง ตามลำดับ

อนึ่ง น้ำยางธรรมชาติสด หลังจากกรีดจากต้นยาง จะคงสภาพเป็นน้ำยางอยู่ได้ในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะเริ่มจับตัว จนสูญเสียสภาพ แล้วจะมีการบูดเน่าและมีกลิ่นเหม็นในเวลาต่อมา (เสาวนีย์ ก่อวุฒิภูธรังษี, 2546) ในการวิจัยนี้ จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องผสมสารดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

3.1.4 เมื่อผสมคอนกรีตตามที่กำหนดแล้ว จึงทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test) จากนั้นจึงหล่อเข้าแบบมาตรฐาน (รูปลูกบาศก์ และรูปคาน) แล้วทำการบ่มขึ้นเป็นเวลา 7 วัน ทุกตัวอย่าง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา Hydration จากนั้นจึงบ่มแห้งในอากาศต่อไป เพื่อให้อนุภาคของยางธรรมชาติเกาะรวมตัวกัน (Coalesce) เป็นชั้น Film ที่แทรกกระจายตัวในเนื้อคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง ในที่นี้ กำหนดให้บ่มในอากาศเพิ่มเป็นเวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ แล้วจึงทดสอบค่า Compressive Strength และ Flexural Strength ต่อไป ทั้งนี้ จะศึกษาเปรียบเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐานที่ไม่ผสมยางธรรมชาติด้วย

3.1.5 วิเคราะห์ผลการวิจัย โดยการสร้างกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.1.6 จัดทำรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ พร้อมสรุปผลการวิจัย

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 บทนำ

การศึกษานี้ กำหนดข้อตกลงว่าให้เรียกสัดส่วน เนื่อยาง/ซีเมนต์ ว่าค่า Polymer/Cement Ratio หรือ P/C Ratio โดยตัวอย่างน้ำยางสดที่ใช้จะมีค่า %TSC เท่ากับ 40% สำหรับค่าคงที่ที่สำคัญอื่นๆ ได้แก่ ค่า Water/Cement Ratio หรือ W/C จะใช้เท่ากับ 0.6 และคอนกรีตทุกตัวอย่าง จะบ่มขึ้นด้วยการห่อด้วยพลาสติกกันความชื้น เป็นระยะเวลา 7 วัน ตลอดการวิจัย เนื่องจากการทดสอบในช่วงต้นนั้น พบปัญหาว่า เมื่อนำคอนกรีตตัวอย่างที่ผสมน้ำยางธรรมชาติ บ่มในน้ำ ปรากฏว่า ในน้ำจะมีคราบเป็นแผ่นที่เกิดจากเนื่อยางไหลออกจากเนื้อคอนกรีตรวมตัวกัน สำหรับรายละเอียดผลการศึกษาในบทนี้ จะกล่าวถึง

1. ปัญหาการผสมน้ำยางธรรมชาติในคอนกรีต
2. ลำดับการผสม และสารผสมเพิ่มที่ควรใช้
3. ผลกระทบจากสารเคมีรักษาเสถียรภาพน้ำยาง
4. ความสามารถเทได้ และ
5. กำลังรับแรงของคอนกรีต

#### 4.2 ปัญหาการผสมน้ำยางธรรมชาติในคอนกรีต

ในแนวคิดเบื้องต้น ของการวิจัยครั้งนี้ ต้องการที่จะพัฒนาคอนกรีตผสมน้ำยางธรรมชาติ ที่ใช้สารเคมีที่หาได้ง่าย และใช้น้อยชนิดที่สุด เพื่อให้สะดวกในการใช้งานจริง จึงเริ่มศึกษาโดยการนำน้ำยางธรรมชาติ สด ที่ได้ผสมเฉพาะสารแอมโมเนียเหลวที่หาได้ทั่วไป ในปริมาณ 3 % โดยน้ำหนักของน้ำยาง เพื่อรักษาเสถียรภาพให้คงความเหลวไว้ เพื่อให้ง่ายต่อการผสมในคอนกรีต อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาผสมจริงในคอนกรีตปกติ พบปัญหาหลายประการ ดังนี้

##### 4.2.1 คอนกรีตขาดความสามารถเทได้

ความสามารถเทได้ (Workability) โดยทั่วไปหมายถึง ความง่ายของการเทคอนกรีต โดยไม่ทำให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว จากการศึกษ พบว่า เมื่อผสมน้ำยางเข้าในคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตขาดความลื่นเหลว อาจเนื่องจากคอนกรีตในช่วงแรกของการผสม จะมีความร้อนเกิดขึ้น ทำให้แอมโมเนียที่ผสมในน้ำยาง ซึ่งปกติระเหยเร็วอยู่แล้ว ยิ่งระเหยออกเร็วขึ้น จนน้ำยางขาดเสถียรภาพไม่สามารถคงอยู่ในสภาพของเหลวได้ จึงจับตัวกันเร็วเกินไป จนคอนกรีตไม่สามารถทำงานได้ หรือไม่สามารถเทเข้าแบบได้ (รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของคอนกรีตสดผสมน้ำยาง สัดส่วน P/C = 0.05 ซึ่งไม่สามารถเทได้) และเมื่อนำคอนกรีตตัวอย่างที่ผสมดังกล่าวมาทดสอบค่า Slump พบว่า มีค่าเท่ากับ 0 ดังผลที่แสดงในรูปที่



รูปที่ 4.1 ลักษณะของคอนกรีตผสมน้ำยาง สัดส่วน P/C = 0.05 ที่ขาดความสามารถเทได้



รูปที่ 4.2 คอนกรีตผสมน้ำยาง สัดส่วน P/C = 0.05 มีค่า Slump = 0

#### 4.2.2 คอนกรีตก่อตัวช้าลง

เมื่อเทตัวอย่างคอนกรีตข้างต้น เข้าแบบมาตรฐานรูปคาน ขนาด 15×15×75 เซนติเมตร หลังจากนั้น 24 ชั่วโมง (1 วัน) จึงทำการถอดแบบออก (คอนกรีตปกติที่ใช้ในการทดสอบ จะถอดจากแบบมาตรฐาน หลังหล่อแล้ว 1 วัน) ปรากฏว่า คอนกรีตที่ได้ ไม่สามารถจับตัวกันได้เลย เนื่องจากคอนกรีตยังไม่เกิดการก่อตัวโดยเฉพาะอย่างยิ่ง จะสังเกตได้ชัดว่า เนื้อคอนกรีตจะยุ่ยและแยกออกจากกัน ซึ่งสอดคล้องกับ รายงานการศึกษาโดย D.C. Blackley ที่ระบุว่า น้ำยางธรรมชาติ จะเป็นตัวหน่วง (Retard) ปฏิกริยา Hydration ให้เกิดช้าลงในส่วนผสมคอนกรีต ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 คอนกรีตผสมน้ำยาง สัดส่วน P/C = 0.05

หลังจากหล่อแล้ว 24 ชั่วโมง พบ ว่า

#### 4.2.3 คอนกรีตมีฟองอากาศมาก

จากการผสมคอนกรีต โดยใช้น้ำยางธรรมชาติผสมในสัดส่วนเดียวกัน พบว่า มีฟองอากาศเกิดขึ้นจำนวนมาก ขณะทำการกระทุ้งเข้าแบบ และการตอบสนองการกระทุ้งจะมีความแตกต่างจากคอนกรีตทั่วไป คือจะมีความยืดหยุ่น เนื่องจากเนื้อยางเกิดการจับตัวกันแล้ว ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งจะเกิดผลเสียกับสมบัติการรับแรงของคอนกรีต โดยเฉพาะกำลังรับแรงอัด



รูปที่ 4.4 คอนกรีตผสมน้ำยาง สัดส่วน P/C = 0.05

มีฟองอากาศเกิดขึ้นจำนวนมาก

จากปัญหาที่พบในการผสมน้ำยางธรรมชาติกับคอนกรีตข้างต้น ซึ่งเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากที่จะได้นำมาวิเคราะห์หาแนวทางแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ทั้งการใช้สารเคมี และเทคนิควิธีการผสมที่อาจต้องปรับเปลี่ยน ในกระบวนการและวิธีการวิจัยครั้งนี้

### 4.3 ลำดับการผสม และสารผสมเพิ่มที่ควรใช้

ลำดับการผสมและสารผสมเพิ่ม ที่ได้นำมาพิจารณาเลือกใช้เพิ่มเข้าในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อคาดหวังในการแก้ปัญหาการจับตัวของน้ำยางที่เร็วเกินไป การก่อตัวที่ช้าลงของคอนกรีต และการเกิดฟองอากาศ โดยการแก้ปัญหาทางต้องพิจารณาถึงลำดับการผสมและการเลือกชนิดของสารผสมเพิ่ม ดังนั้น การศึกษาหาลำดับการผสม และสารผสมเพิ่มที่ควรใช้ที่เหมาะสมที่สุด โดยการผสมมอร์ต้า (ซีเมนต์ ทราย และน้ำ) เป็นตัวอย่าง จะสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน และยังใช้วัสดุในปริมาณน้อย ประหยัด และสะดวกในการผสมด้วยมือ แทนการผสมคอนกรีตจริง ตารางที่ 4.1 แสดงลำดับการผสม สารผสมเพิ่มที่ใช้ กับความเข้ากันได้ของมอร์ต้าและน้ำยาง

ตารางที่ 4.1 ลำดับการผสม สารผสมเพิ่มที่ใช้ กับความเข้ากันได้ของมอร์ต้าและน้ำยาง

| รูปแบบลำดับการผสม<br>(ซีเมนต์+ทราย เป็นลำดับแรก) | P/C Ratio |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------|-----------|------|------|------|------|
|                                                  | 0.05      | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 |
| 1. น้ำ→น้ำยาง                                    | ×         | ×    | ×    | ×    | ×    |
| 2. น้ำ+น้ำยาง                                    | ×         | ×    | ×    | ×    | ×    |
| 3. น้ำ+สารเร่งการก่อตัว→น้ำยาง                   | ✓         | ✓    | ×    | ×    | ×    |
| 4. น้ำ+สารเร่งการก่อตัว+น้ำยาง                   | ×         | ×    | ×    | ×    | ×    |
| 5. น้ำ+สารลดแรงตึงผิว→น้ำยาง                     | ✓✓        | ✓✓   | ✓✓   | ✓✓   | ✓✓   |
| 6. น้ำ→สารลดแรงตึงผิว+น้ำยาง                     | ✓✓        | ✓✓   | ✓✓   | ✓✓   | ✓✓   |

หมายเหตุ

น้ำยางจะผสมแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ), สารเร่งการก่อตัว ใช้ผลิตภัณฑ์ ROC-SP 100, สารลดแรงตึงผิว แบบไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) ผลิตภัณฑ์ Lutensol<sup>®</sup> XL 80 ( $\text{C}_{10}$  - Guerbet Alcohol Alkoxylate)

× หมายถึง เข้ากันไม่ได้ ( $\leq 5$  นาที), ✓ หมายถึง เข้ากันได้ชั่วคราว ( $\leq 10$  นาที)

และ ✓✓ หมายถึง เข้ากันได้ดีเหมือนมอร์ต้าปกติ

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า การผสมน้ำยางด้วยแอมโมเนีย เมื่อนำมาผสมกับส่วนผสมมอร์ต้า จะเข้ากันไม่ได้ แม้ว่าลำดับการผสมจะเป็นเช่นใดก็ตาม สำหรับการแก้ปัญหาการหน่วงการก่อตัวของซีเมนต์จากผลของน้ำยาง โดยเลือกใช้สารเร่งการก่อตัวของซีเมนต์ พบว่า สามารถใช้ได้กับส่วนผสมที่ผสมน้ำยาง

ในปริมาณน้อย คือ P/C ไม่เกิน 0.10 หากมากกว่านี้แล้ว ก็เข้ากันไม่ได้เช่นกัน ทั้งนี้ การใช้สารเร่งการก่อตัวควรใช้ผสมกับน้ำก่อน แล้วผสมในส่วนผสมมอร์ต้า แล้วสุดท้ายค่อยผสมน้ำยาเป็นลำดับสุดท้าย จะได้ผลที่ดีกว่าการผสมรวมในคราวเดียว ในส่วนของการใช้สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ ไม่ว่าจะเป็นผสมด้วยลำดับแบบใด และใช้น้ำยาในสัดส่วนใด ( $P/C = 0.05$  ถึง  $0.25$ ) มอร์ต้าก็สามารถเข้ากันได้ดีทั้งหมด อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่า การผสมสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ จะทำให้ส่วนผสมมอร์ต้ามีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมาก ทั้งนี้ ผลการทดสอบมอร์ต้าในส่วนนี้ สามารถเทียบเคียงได้กับการทดสอบคอนกรีต (มอร์ต้า+หิน=คอนกรีต)

#### 4.4 ผลกระทบจากสารเคมีรักษาเสถียรภาพน้ำยา

การใช้น้ำยาธรรมชาติผสมคอนกรีต จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใส่สารเคมีรักษาเสถียรภาพน้ำยา เพื่อให้ไม่ให้อย่างจับตัวหรือสูญเสียสภาพก่อนการผสม ในเบื้องต้นของการศึกษา ได้เลือกที่จะนำสารเคมีมาใช้ 2 ตัว คือ 1. แอมโมเนียเหลว ( $NH_3$ ) เข้มข้น 15% และ 2. บอแรกซ์ ( $Na_2B_2O_7 \cdot 10H_2O$ ) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานน้ำยา อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องศึกษาถึงอิทธิพลของสารเคมีทั้ง 2 ตัวดังกล่าวต่อกำลังรับแรงของคอนกรีต (ตารางที่ 4.2 แสดงผลของแอมโมเนียเหลว ( $NH_3$ ) และ/หรือบอแรกซ์ ( $Na_2B_2O_7 \cdot 10H_2O$ ) กับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต)

ตารางที่ 4.2 ผลของแอมโมเนียเหลว ( $NH_3$ ) และ/หรือบอแรกซ์ ( $Na_2B_2O_7 \cdot 10H_2O$ )

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 |               |               |           |
|--------------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------|-----------|
|                                | ตัวอย่างที่ 1                       | ตัวอย่างที่ 2 | ตัวอย่างที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
| ไม่ผสมสารใดๆ                   | 252.78                              | 227.38        | 213.24        | 231.13    |
| ผสมแอมโมเนียเหลว 20%           | 292.77                              | 296.90        | 312.19        | 300.62    |
| ผสมบอแรกซ์ 5%                  | 256.20                              | 245.56        | 222.26        | 241.34    |
| ผสมแอมโมเนีย 20% และบอแรกซ์ 5% | 257.70                              | 265.45        | 258.65        | 260.60    |

หมายเหตุ ร้อยละของสารเคมีที่ผสม คิดจากน้ำที่ต้องใช้ทั้งหมด

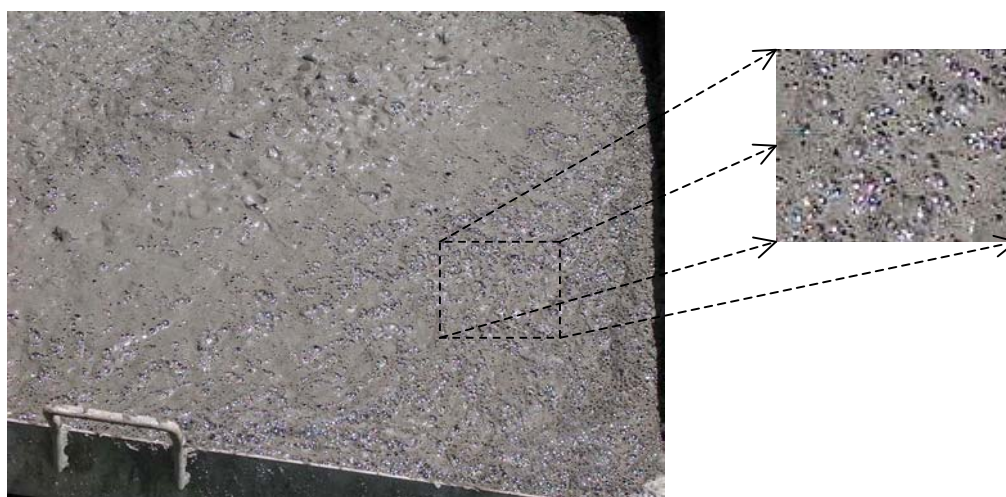
ทั้งนี้ ต้องลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมลงในปริมาณที่เท่ากันนี้ด้วย

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ทั้งสารแอมโมเนีย และบอแรกซ์ที่ผสมในคอนกรีต ไม่มีผลในการทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ลดลงแต่อย่างใด ในทางกลับกันกลับพบว่า การ

ใช้สารแอมโมเนียผสมในคอนกรีต ยิ่งทำให้คอนกรีตรับกำลังอัดได้สูงขึ้น ประมาณ 30 % อาจเนื่องจากการที่ค่า W/C ลดลง จากการแทนที่น้ำด้วยแอมโมเนียเหลว 20 % ซึ่งเป็นที่ทราบว่าแอมโมเนียจะเป็นสารที่ระเหยตัวเร็ว ดังนั้น หากเลือกใช้สารเคมีดังกล่าวนี้เพื่อรักษาเสถียรภาพน้ำยาง จึงสามารถยืนยันได้ว่าจะไม่ส่งผลในทางลบต่อกำลังของคอนกรีต

#### 4.5 ความสามารถเทได้

ผลการศึกษาที่ได้ จากตารางที่ 4.1 ในการวิจัย จึงเลือกใช้วิธีการผสม โดยการผสมซีเมนต์กับทรายให้เข้ากันดีก่อน แล้วจึงใส่หิน จากนั้นจึงใส่น้ำที่ผสมสารลดแรงตึงผิวแล้ว เมื่อคอนกรีตเข้ากันได้ดีแล้ว จึงใส่น้ำยางธรรมชาติเป็นลำดับสุดท้าย โดยการผสมจะใช้ไม้อผสม (Tilting Mixer) ตลอดการวิจัย สำหรับความสามารถเทได้ของคอนกรีต สามารถวัดได้ทางอ้อมโดยการทดสอบหาค่าการยุบตัว (Slump Test) ตามมาตรฐาน ASTM C143 อนึ่ง ในการกำหนดขอบเขตการวิจัย ที่ได้กำหนดให้ใช้ค่า W/C = 0.6 ตลอดการวิจัยนั้น พบว่าไม่สามารถใช้ได้ เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่คอนกรีตมีความเหลวมากเกินไป ซึ่งเมื่อผสมสารลดแรงตึงผิวแล้ว ทำให้คอนกรีตมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก (คล้ายฟองเบียร์) ดังรูปที่ 4.5 ดังนั้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าว จึงต้องลดค่า W/C เป็น 0.4 ซึ่งพบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ (ฟองอากาศน้อยลงมาก) ทั้งนี้ ในทางทฤษฎี ยังสามารถลดค่า W/C ลงได้อีก แต่มีข้อจำกัดในทางปฏิบัติ จากปริมาณน้ำที่มีประมาณ 60 % ในน้ำยางที่มีค่า Total Solid Content 40 % ซึ่งปริมาณน้ำดังกล่าว จะเป็นตัวกำหนด W/C ขั้นต่ำของส่วนผสม หากต้องการ W/C ที่ต่ำกว่านี้ ต้องหาวิธีการดึงน้ำออกจากส่วนผสม ซึ่งจะมีความยุ่งยากมากในทางปฏิบัติ (ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการยุบตัวของคอนกรีตจำแนกตามค่า P/C Ratio)



รูปที่ 4.5 คอนกรีตสัดส่วน W/C = 0.6 ผสมน้ำยาง และสารลดแรงตึงผิว  
ทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากเกินไป

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

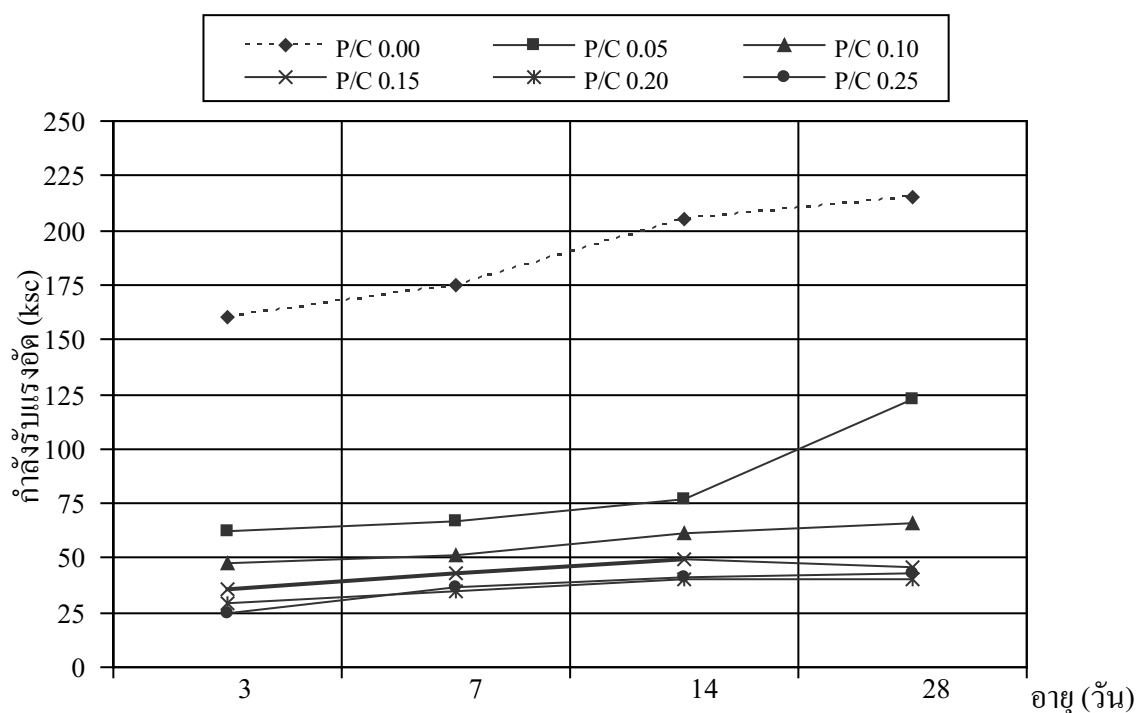
ตารางที่ 4.4 กำลังรับแรงอัด (ksc) ของคอนกรีต จำแนกตามค่า P/C Ratio และระยะเวลาการบ่มแห้ง ในอากาศ

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

Lutensol® XL 80 = 4 % ของซีเมนต์โดยน้ำหนัก (กรณีผสมน้ำยาง)

ตัวอย่างทดสอบรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐาน ขนาด 15×15×15 ซม.

| ระยะเวลาบ่มแห้งในอากาศ<br>(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

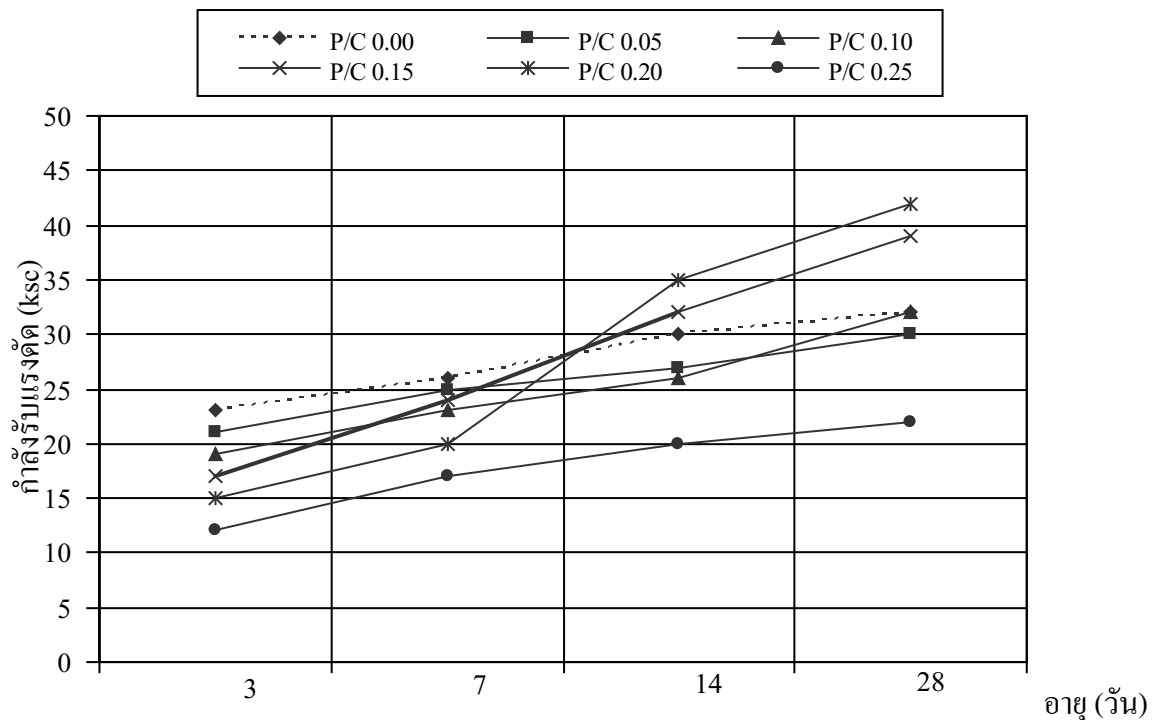
ตารางที่ 4.5 กำลังรับแรงดัด (ksc) ของคอนกรีต จำแนกตามค่า P/C Ratio และระยะเวลาการบ่มแห้งในอากาศ

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

Lutensol<sup>®</sup> XL 80 = 4 % ของซีเมนต์โดยน้ำหนัก (กรณีผสมน้ำยาง)

ตัวอย่างทดสอบรูปคานมาตรฐาน ขนาด 15×15×75 ซม.

| ระยะเวลาบ่มแห้งในอากาศ<br>(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 ( $\text{NH}_3$ ) ในน้ำยางสด และสารลดแรงตึงผิว แบบไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) เช่น ผลิตภัณฑ์ Lutensol<sup>®</sup> XL 80 ( $\text{C}_{10}$  - Guerbet Alcohol Alkoxyate) ในคอนกรีต 2. น้ำยางทำให้คอนกรีตก่อตัวช้าลง ทำให้ไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความเร่งด่วนสูง อาจแก้ไขได้ด้วยการบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำหรืออาจเลือกใช้ในงานคอนกรีตที่ไม่ต้องการความเร่งด่วนได้ 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<sup>®</sup> XL 80 ( $\text{C}_{10}$  - Guerbet Alcohol Alkoxyate) โดยผสมในสัดส่วน 4 % โดยน้ำหนักของซีเมนต์ที่ใช้ทั้งหมด เมื่อคอนกรีตเข้ากันดีแล้วจึงผสมน้ำยางธรรมชาติเป็นลำดับสุดท้าย อนึ่ง ฟองอากาศที่เกิดขึ้นในส่วนผสม อาจลดลงได้ด้วยการใช้เครื่องผสมที่มีประสิทธิภาพดีกว่า อย่างเครื่องผสมแบบกระทะ (Pan Mixer) โดยปรับความเร็วในการกวนลดลง (ในการวิจัยนี้ไม่ได้ดำเนินการด้วยวิธีนี้ เนื่องจากขาดเครื่องมือดังกล่าว)

#### 5.4 ผลกระทบจากสารเคมีรักษาเสถียรภาพน้ำยาง

สารเคมีรักษาเสถียรภาพน้ำยาง เช่น สารแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) 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 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. |
| 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](http://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](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](http://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](http://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)<sup>1</sup>

พิทักษ์ บุญนุ่น (Pitak Bunnun)<sup>2</sup>

กิจฉาว โลหะ (Kittaworn Loha)<sup>3</sup>

อนรรักษ์ กำเนิดัว (Anurak Gamnerdvam)<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>อาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตศรีวิชัย อ.ขนอม จ.นครศรีธรรมราช s\_siriphun@hotmail.com

<sup>3,4</sup>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) สีขาวยืดยาวไว้ 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

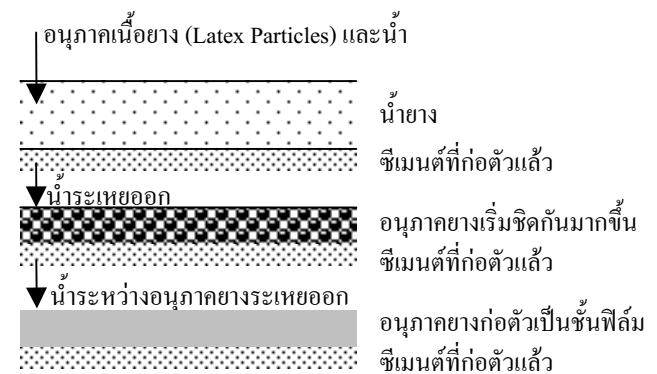
## 2. ผลการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

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 ( $\text{NH}_3$ ) 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] แล้วผสมกับคอนกรีต สัดส่วน 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 คอนกรีตจะต้องผสมสารลดแรงดึงผิวชนิด ไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) ในปริมาณ 4 % ของน้ำหนักซีเมนต์ที่ใช้

เพื่อไม่ให้น้ำยางจับตัวกันเร็วเกินไป สารที่เลือกใช้คือ Lutensol<sup>®</sup> XL80

- 5.4 น้ำยาง จะต้องผสมสารรักษาสภาพน้ำยาง (Preservative) การวิจัยนี้เลือกใช้สารแอมโมเนียเหลว เข้มข้น 15% ในสัดส่วน 3 % ของน้ำหนักน้ำยาง ซึ่งหาได้ง่ายในท้องถิ่นและราคาถูก
- 5.5 เมื่อผสมคอนกรีตตามที่กำหนดแล้ว จึงทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test) จากนั้นจึงหล่อเข้าแบบมาตรฐาน (รูปลูกบาศก์ และ รูปคาน) 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<br>(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 ( $\leq 5$  นาที), ✓ : เข้ากันได้ชั่วขณะ ( $\leq 10$  นาที)  
และ ✓✓ : เข้ากันได้ดีเหมือนมอร์ต้าปกติ

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

6.2 ผลกระทบจากสารเคมีรักษาเสถียรภาพน้ำยา

การใช้น้ำยาธรรมชาติผสมคอนกรีต จำเป็นที่จะต้องใส่สารเคมีรักษาเสถียรภาพน้ำยา เพื่อไม่ให้ยางสูญเสียสภาพก่อนการผสมในเบื้องต้น ได้เลือกที่จะนำสารเคมีมาใช้ 2 ตัว คือ 1. แอมโมเนียเหลว (NH<sub>3</sub>) เข้มข้น 15% และ 2. บอแรกซ์ (Na<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใส่ทั่วไปในโรงงานน้ำยา อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องศึกษาถึงอิทธิพลของสารเคมีทั้ง 2 ตัวดังกล่าวต่อกำลังรับแรงของคอนกรีต ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของแอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>) และ/หรือบอแรกซ์ (Na<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O) 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 หากเลือกใช้สารเคมีดังกล่าวนี้เพื่อรักษาเสถียรภาพน้ำยา จึงสามารถยืนยันได้ว่าจะไม่ส่งผลในทางลบต่อกำลังของคอนกรีต

6.3 ความสามารถเทได้

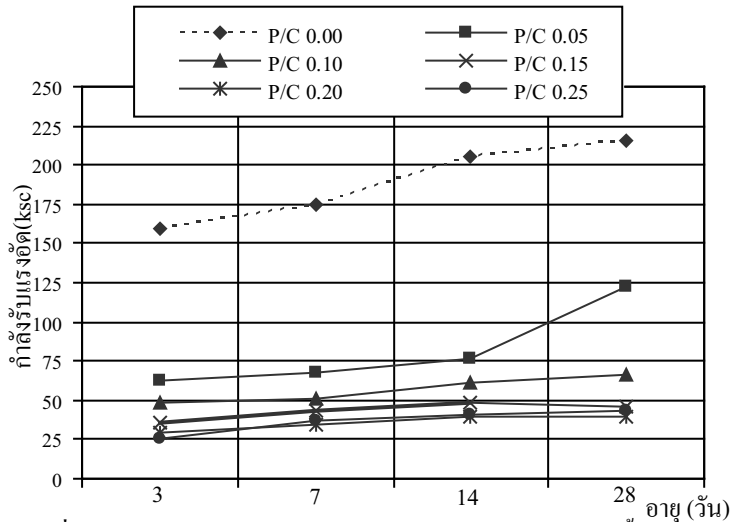
จากตารางที่ 1 ในการวิจัย จึงเลือกใช้วิธีการผสม โดยการผสมซีเมนต์กับทรายก่อน แล้วจึงใส่หิน จากนั้นจึงใส่น้ำที่ผสมสารลดแรงตึงผิวแล้ว เมื่อคอนกรีตเข้ากันได้ดีแล้ว จึงใส่น้ำยาเป็นลำดับสุดท้าย โดยการผสมจะใช้ไม่ผสม (Tilting Mixer) สำหรับความสามารถเทได้ของคอนกรีต สามารถวัดได้ทางอ้อมโดยการทดสอบค่าการยุบตัว (Slump 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 % ในน้ำยาที่มีค่า %TSC ประมาณ 40 % ซึ่งปริมาณน้ำดังกล่าว จะเป็นตัวกำหนด W/C ขั้นต่ำของส่วนผสม



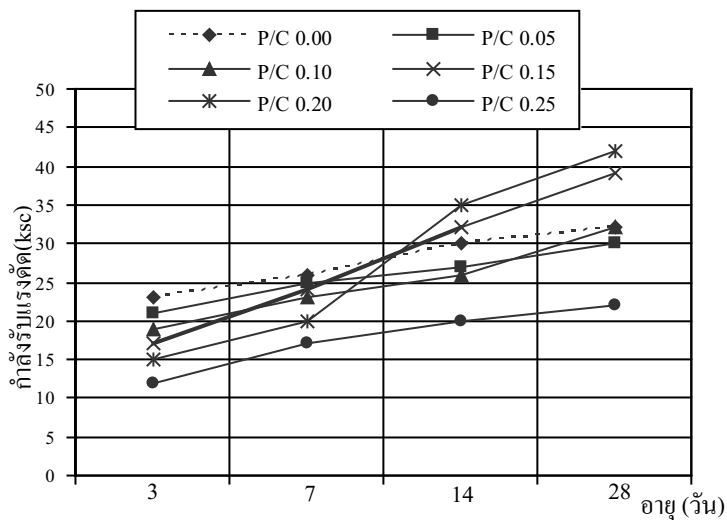
รูปที่ 2 ฟองอากาศจำนวนมากในคอนกรีตที่ W/C = 0.6 ผสมน้ำยา

#### 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 อาจเนื่องมาจากน้ำในคอนกรีตได้ระเหยออกไปมากแล้ว 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<sup>®</sup> 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) ทั้งหมดการยุบตัวแบบฮวบ 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 เนื่องจากความสามารถในการยึดเหนี่ยวของน้ำยางน่าจะมีส่วนช่วยในด้านการเป็นตัวประสานกับคอนกรีตเดิมหรืออาจทำเป็นคอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนัง 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 คิมฐ์แก้ว 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](http://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