บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ความหมายของเฟอร์โรซีเมนต์

เฟอร์โรซีเมนต์ เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งแตกต่างจากคอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆ ไป คือเหล็กเสริมที่ใช้เป็นเหล็กเส้นใยเล็ก ๆ จากนั้นจะพ่นหุ้มเหล็กเสริมนี้ด้วยมอร์ตาดังนั้น เฟอร์โรซีเมนต์จะบางกว่าคอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆไป และลวดตะแกรงสามารถนำมาดัด ทำให้เกิดรูปต่างได้หลายรูปแบบ

การผลิตคอนกรีตประเภทนี้มักใช้ในประเทศกำลังพัฒนาเพราะต้องใช้แรงงานผลิตซึ่งเหมาะกับงานบางประเภท เช่น การทำเรือ สระว่ายน้ำขนาดเล็ก ไซโล ถังเก็บน้ำและหลังคารูปทรงต่าง ๆ คุณสมบัติประการสำคัญของเฟอร์โรซีเมนต์ คือ มีความสามารถด้านทานต่อการแตกร้าวได้ดีกว่าคอนกรีตทั่ว ๆไป

มอร์ตาที่ใช้ในงาน เฟอร์โรซีเมนต์นี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทรายที่มีขนาดคละ และวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์บางประเภท เช่น ขี้เถ้าบางชนิด บางที่ใส่กรวดขนาดเล็กลงไปด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของตะแกรง อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ จะใช้ 1.5 - 2.5 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.35 - 0.55

ส่วนตะแกรง มีการใช้วัสดุหลายประเภท เช่น ตะแกรงกรงไก่ เหล็กเสริมขนาดเล็ก ๆ ที่เชื่อมกันเป็นตะแกรง รวมไปถึงวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ เช่น ไม้ไผ่

The Acadamy Concrete Institute (ACI) ได้ลงความเห็นเรื่องเฟอร์โรซีเมนต์ว่า "เฟอร์โรซีเมนต์เป็นชนิดของโครงสร้างคอนกรีตเปลือกบาง โดยใช้ hydraulic cement ใช้เสริมเป็นชั้น ๆ อย่างต่อเนื่อง และฉาบติดกับตาข่ายขนาดเล็ก (small diameter mesh) ตาข่ายอาจจะทำจากวัสดุจำพวกเหล็กหรือวัสดุอื่นที่เหมาะสม "

เบื้องหลังของแนวความคิดของเฟอร์โรซีเมนต์ คือ เฟอร์โรซีเมนต์นั้นสามารถทนต่อการยืด (Strain) ใกล้เคียงคอนกรีตเสริมเหล็ก และขนาดของการยืดขึ้นอยู่กับการกระจายของเหล็กเสริมที่กระจายอยู่ทั่วทั้งมวลของคอนกรีต เฟอร์โรซีเมนต์ใช้เป็นวัสดุโครงสร้างได้ดีกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ เช่น ไม้ เหล็ก เพราะสามารถสร้างให้มีรูปร่างลักษณะและขนาดได้ตามต้องการ ไม่ต้องถูกจำกัดเหมือนวัสดุอื่น ทำได้สะดวก รวดเร็ว ราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับวัสดุอย่างอื่น เฟอร์โรซีเมนต์เป็นวัสดุพิเศษในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่จะมีพฤติกรรมแตกต่างจากคอนกรีตเสริมเหล็กในลักษณะความแข็งแรง หลักการและความแปลกของเฟอร์โรซีเมนต์ เป็นทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจ

2.2 ประวัติความเป็นมาของเฟอร์โรซีเมนต์

ความเป็นมาของเฟอร์โรซีเมนต์เป็นเรื่องที่น่าสนใจ เมื่อปี 1848 Josep Louis Lombได้สร้างเรือพาย กระถางต้นไม้ ที่นั่ง และสิ่งอื่น ๆ อีกจากวัสดุที่เขาเรียกว่า " Ferciment " และได้นำเผยแพร่ในปี 1952 Lambot ได้กล่าวว่า การประดิษฐ์ของเขาเป็นผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ที่สามารถแทนที่ไม้ซึ่งข้อเสียของไม้ก็คือ เมื่อสัมผัสน้ำนาน ๆ จะผุพัง แปรรูปยาก ไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งโครงสร้าง โดยเขาได้ใช้ลวดเหล็กมาสานกันเป็นตาข่ายจนเป็นแผ่น จากนั้นเขาก็ใช้ปูนซีเมนต์ฉาบทับลวดตาข่าย

ปัจจุบันเรือของ Lambot เหลืออยู่ที่พิพิธภัณฑ์ Brignols ในประเทศฝรั่งเศส ซึ่งมีขนาดกว้าง 4 ฟุต (1.22 เมตร) ยาว 12 ฟุต (3.66 เมตร) หนา 1 - 1.5 นิ้ว (25 - 38 มิลลิเมตร) จากนั้นในปี 1887 Gabellini และ Boon ได้นำเทคนิคการสร้างเรือของ Lambot ทำเรือใบ Zeemeeuw ที่มีชื่อเสียงมาก

ช่วงต้นของการพัฒนาเฟอร์โรซีเมนต์ ชาวฮอลันดาได้สร้างเรือเฟอร์โรซีเมนต์บรรทุกขี้เถ้าถ่านหินและขยะมูลฝอย สามารถบรรทุกได้ถึง 50 - 60 ตัน ในปี 1900 รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้สร้างเรือคอนกรีตลำแรกขึ้นโดยให้ชื่อว่า " concrete " มีความยาว 18 ฟุต (5.5 เมตร) และมีความหนา 3/4นิ้ว (19 มิลลิเมตร) โดยติดตั้งเครื่องยนต์ขนาดเล็ก มีความเร็วประมาณ 10 ไมล์ทะเล

ในปี 1940 Pier Luigi Nervi วิศวกรชาวอิตาเลียน ได้นำแนวคิดของ Lambot มาใช้ เมื่อเขาได้ทดลองและสังเกตเห็นว่าการเสริมเหล็กตาข่ายในมอร์ตาเป็นวัสดุที่พิเศษทางกล จะมีการยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตา ลวดตาข่าย และเหล็กเสริม สามารถต้านทานต่อแรงกระแทก ในปี 1947 Nervi ได้สร้างโรงเก็บของเล็ก ๆ (Store House) ด้วยเฟอร์โรซีเมนต์ จากนั้นเขาก็ได้ทำหลังคาเฟอร์โรซีเมนต์คลุมสระว่ายน้ำที่โรงเรียนนายเรือ ด้วยความยาว 50 ฟุต (15 เมตร)และหลังคาที่ Turin Exhibition Hall ซึ่งเป็นหลังคาที่มีความยาว 300 ฟุต (91 เมตร)

ปี 1958 สหภาพโซเวียตได้สร้างหลังคาเฟอร์โรซีเมนต์ที่มีขนาดทั้งหมดประมาณ 108 ล้านตารางฟุต (10 ล้านตารางเมตร) มีความหนา 0.8 นิ้ว (20 มิลลิเมตร) ช่วงห่างของแปประมาณ 79 - 98 ฟุต (24 - 30 เมตร) ใช้สำหรับห้องขนาดใหญ่ อาคารนิทรรศการ ศูนย์การค้า ภัตตาคาร โรงเรือน เพาะชำของเกษตรกร

ในปี 1960 หลักฐานของเฟอร์โรซีเมนต์ปรากฏขึ้นอย่างมากมาย ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ในสหราชอาณาจักร นิวซีแลนด์ และออสเตรเลีย มีเรือเฟอร์โรซีเมนต์ประมาณ 1,000 ลำ และมีการทำเพื่อแข่งขันกันขึ้นในหลายประเทศ

ความสนใจเกี่ยวกับเฟอร์โรซีเมนต์ได้มากขึ้นเมื่อ New Zeland Ferro Cement Marine Association (NZFCMA) โดย Richard Hartly ในปี 1968 ด้วยการสนับสนุนของประชาชนชาว

Auckland จุดมุ่งหมายเบื้องต้นของสมาคมเพื่อความก้าวหน้าทางด้านการส่งเสริมและการช่วยเหลือสิ่งก่อสร้างเกี่ยวกับเฟอร์โรซีเมนต์ในทะเล ได้จัดพิมพ์วารสารออกมาเผยแพร่

ในระหว่างนั้นองค์กรสหประชาชาติ แสดงความสนใจในการใช้เฟอร์โรซีเมนต์สร้างเรือตกปลาในประเทศกำลังพัฒนา โครงการสร้างเรือเฟอร์โรซีเมนต์เริ่มในเอชีย แอฟริกา แถบแปซิฟิก และลาตินอเมริกา ในปี 1968 FAO ได้เตรียมจัดการแนะแนวแทคนิคในการสร้างเรือเฟอร์โรซีเมนต์ในหลานประเทศที่กำลังพัฒนา ในปี 1972 FAO ได้ให้การสนับสนุนในการสัมมนาในระดับนานาชาติในหัวเรื่อง การออกแบบและการสร้างเรือตกปลาเฟอร์โรซีเมนต์ ในเมือง Wellington ประเทศนิวซีแลนด์ การสัมมนาร่วมกับนานาชาติซึ่งเป็นองค์กรที่มีชื่อเสียงในเรื่องเฟอร์โรซีเมนต์จากทั้งหมดของโลก จุดมุ่งหมายของการสัมมนาคือการรวบรวมความทันสมัยของข้อมูลในเรื่องเฟอร์โรซีเมนต์ ในเรื่องเกี่ยวกับทักษะ วิธีการสร้าง ราคา ประสบการณ์ในการบริการ และสิ่งใหม่ ๆ ของศิลปะ ของเรือและวัสดุก่อสร้าง มีการแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์เกี่ยวกับเรือเฟอร์โรซีเมนต์ การออกแบบและการสร้าง

ในปี 1972 Nation Acadamy of Science ของสหรัฐอเมริกา ได้จัดตั้ง Ad Hoc Panel ในการให้ประโยชน์เรื่องเฟอร์โรซีเมนต์กับประเทศกำลังพัฒนาโดย ศาสตราจารย์ Jame P. Romualdi แห่งมหาวิทยาลัย Carnegie Mellon U.S.A เป็นประธานและเข้าร่วมโครงการต้องเป็นผู้มีประสบการณ์ในการคิดค้นและประยุกต์เฟอร์โรซีเมนต์และอื่น ๆ

จากรายงานเมื่อต้นปี 1973 ได้ระบุถึงผลกระทบครั้งยิ่งใหญ่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เฟอร์โรซีเมนต์ ผู้เข้าร่วมได้ชี้ให้เห็นว่าเฟอร์โรซีเมนต์เป็นวัสดุเทคโนโลยีที่เหมาะสมและได้มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางโดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนา จากการรายงานระบุว่าประชาชนทั่วไปไม่เข้าใจนำวัสดุชนิดนี้มาใช้

การศึกษาเรื่องเฟอร์โรซีเมนต์ในทวีปเอเซียการสนับสนุนจาก Asian Institute of Thechnology (AIT) และ U.S.National Acadamic of Science (NAS) จัดตั้งขึ้นในกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ในเดือนพฤศจิกายน 1974 ได้ศึกษาถึงประโยชน์ของเทคโนโลยีของเฟอร์โรซีเมนต์มีส่วนในประเทศที่กำลังพัฒนา วิศวกร นักวิทยาศาสตร์ นักบริหารและนักธุรกิจ ให้โอกาสแก่พวกเขาเพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์เกี่ยวกับเรื่องเฟอร์โรซีเมนต์ ได้มีการแนะนำต้นกำเนิด เพื่อส่งเสริมให้ทั่วโลกรู้จักกว้างขวางมากยิ่งขึ้น เผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องเฟอร์โรซีเมนต์ในรายละเอียดอื่น เดือนตุลาคม ปี 1976 International Ferrocement Information Center (IFIC) ได้สร้างขึ้นที่ Asian Institute of Technology กรุงเทพ ด้วยการสนับสนุนของ International Develop Research Center (IDRC) ของแคนาดา และ The United States Agency for International

Development (USAID) ตลอดทั้งการพัฒนาเศรษฐกิจแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ภายใต้คณะกรรมการจากรัฐบาลไทยและรัฐบาลของประเทศนิวซีแลนด์

เอกสารเกี่ยวกับเฟอร์โรซีเมนต์ซึ่งโดยทั่วไปมีต้นกำเนิดมาจากประเทศนิวซีแลนด์ โดย New Zeland Ferro Cement Marine Association (NZFCMA) ได้รับการพัฒนามากขึ้นโดย IFIC ซึ่งปัจจุบันได้เผยแพร่ทั้งในเรื่องเครื่องมือ และข้อมูลเฟอร์โรซีเมนต์ของศูนย์

ในต้นปี 1977 the Acadamy Concrete Institute (ACI) ได้จัดตั้งคณะกรรมการ เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องเฟอร์โรซีเมนต์ ปัจจุบันเป็นที่ชัดเจนว่าเฟอร์โรซีเมนต์เป็นวัสดุที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้สร้างได้หลายอย่าง และเป็นที่คาดหวังว่าจะมีการนำเฟอร์โรซีเมนต์ไปใช้ประโยชน์มากขึ้นในประเทศไทย

2.3 ข้อดีของเฟอร์โรซีเมนต์

เฟอร์โรซีเมนต์เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนาอย่างประเทศไทยเนื่องด้วยเหตุผลต่าง ๆ ดังนี้

1. วัตถุดิบที่ใช้สามารถหาได้ในหลายพื้นที่
2. สามารถสร้างเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ตามต้องการ
3. ทักษะในการก่อสร้างสามารถเรียนรู้และฝึกได้ง่าย
4. เครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องมือพื้นฐานไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรกลขนาดใหญ่
5. กรณีเกิดความเสียหายสามารถซ่อมแซมได้ง่าย
6. ใช้แรงงานคนทำเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีมากอยู่แล้ว

2.4 องค์ประกอบของเฟอร์โรซีเมนต์

แผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ซึ่งเป็นแผ่นบาง ๆ ประกอบด้วยชั้นลวดตาข่ายฉาบด้วยซีเมนต์มอร์ตาที่เป็นปูนเค็ม (high ratio of cement to sand) และมีการบ่มที่ถูกต้อง ส่วนประกอบหลักของเฟอร์โรซีเมนต์ได้แก่

1. ลวดตาข่าย (Wire Mesh)
2. เหล็กเสริม (Skeletal Steel)
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)
4. มวลรวม (Aggregates)
5. น้ำ (Water)
6. สารป้องกันการซึม (WaterProofing)

2.5 การนำเฟอร์โรซีเมนต์ไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ

2.5.1 การประยุกต์ใช้กับบ้านพักอาศัย

บ้านเฟอร์โรซีเมนต์สามารถใช้ประโยชนจากวัสดุในท้องถิ่น เช่น ไม้ , ไม้ไผ่ หรือกิ่งไม้แทนเหล็กได้ซึ่งมีการทำกันในประเทศต่าง ๆ ช่นประเทศบังคลาเทศ อินโดนีเซีย และปาปัวนิวกินี นอกจากการก่อสร้างแบบหล่อในที่แล้วยังสามารถทำชิ้นส่วนสำเร็จ จากนั้นจึงยกไปติดตั้งในภายหลังได้ เช่นชิ้นส่วนของหลังคา ผนัง โดยมีการทำกันในประเทศอินเดีย ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย บราซิล และประเทศอื่น ๆ อีก โดมบริเวณหลังคาของ มัสยิด ก็ทำจากเฟอร์โรซีเมนต์เช่นกัน

2.5.2 การประยุกต์ใช้กับเรือ

มีการนำเฟอร์โรซีเมนต์มาปรับปรุงให้มีความเหมาะสมกับการทำเรือในบังกลาเทศ จีน อินเดีย อินโดนีเซียและประเทศไทย เนื่องมาจากการขาดแคลนของไม้

เรือเฟอร์โรซีเมนต์แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 4 ประเภท คือ

1. เรือที่ใช้ในการเกษตร (Farming Boats)
2. เรือประมง (Fishing Boats)
3. เรือขนส่ง (Transport Boats)
4. เรือบรรทุกสินค้า (Working Boats)

ในประเทศต่าง ๆ เช่น ฮ่องกง เกาหลี อินเดีย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา และไทย โดยทั่วไปแล้ว เรือเฟอร์โรซีเมนต์ทำตามแบบมาตรฐานของเรือตะวันตก สำหรับในฮ่องกง อินเดีย และศรีลังกาสร้างเรือขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์ใช้เป็นเรือลากอวนที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์

2.5.3 การประยุกต์ใช้ในทางเกษตรกรรม

ได้มีการสร้างที่เก็บผลิตผลทางการเกษตรขึ้นเพื่อเก็บรักษาผลผลิตให้รอดพ้นจากการรบกวนที่จะก่อให้เกิดความเสียหายจากนก แมลง หนูและเชื้อรา ขนาดที่สร้างมีความสามารถรองรับผลผลิตได้ 3 - 10 ตัน โดยมีการนำไม้ไผ่มาแทนเหล็กเสริม ในคอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆ ไป การสร้างจะมีการคำนึงถึง ค่าใช้จ่ายในการเข้าไปตามหลักเศรษฐศาสตร์ น้ำไม่ซึมผ่านและมีความทนทาน ซึ่งค่าบำรุงรักษาจะต้องน้อยด้วย

2.5.4 การประยุกต์ใช้กับน้ำ ระบบสุขาภิบาล

เฟอร์โรซีเมนต์สามารถนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับระบบประปา สุขาภิบาล เช่น ขอบบ่อตื้น ๆ แท้งค์น้ำ บ่อส่งน้ำ รางน้ำ บ่อตกตะกอน Septic Tank และส่วนประกอบอื่น ๆ

2.5.5 การประยุกต์ใช้ด้านพลังงานในชนบท

ก๊าซชีวภาพและพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน 2 ทางเลือก สำหรับชนบท ซึ่งเฟอร์โรซีเมนต์สามารถนำมาใช้ในกระบวนการนี้ได้

ก๊าซชีวภาพสามารถใช้สำหรับปรุงอาหาร ให้แสงสว่าง และทำความเย็นในประเทศไทยและอินเดีย ถังหมักและถังเก็บก๊าซชีวภาพสร้างด้วยเฟอร์โรซีเมนต์ซึ่งนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง เฟอร์โรซีเมนต์เคยนำมาใช้บุผนังด้านในของบ่อหมักก๊าซ เมื่อราคาของอิฐไม่เหมาะที่จะนำมาใช้