บทที่ 2
เฟอร์โรซีเมนต์

ความรู้เกี่ยวกับเฟอร์โรซีเมนต์

เฟอร์โรซีเมนต์ (FERROCEMENT) คือ วัสดุที่ผสมผสานกันระหว่าง มอร์ต้ากับเหล็กเสริมซึ่งเหล็กเสริมใน เฟอร์โรซีเมนต์ เป็นเหล็กเสริมชนิดแผ่นกระจาย มีลักษณะเป็นตะแกรง (REINFORCING MESH) และอาจจะมีเหล็กเสริมโครง (SKELETAL STEEL) เพื่อช่วยยึดเป็นระยะ ๆ (โครงเกร่า) อีกด้วย จากนั้นนำส่วนผสมของมอร์ต้า (MORTAR) บดอัดเข้าไปให้เต็มเนื้อที่ แล้วฉาบแต่งผลิตให้เรียบ เสร็จแล้วบ่มตามกรรมวิธี จะได้ผนังหรือโครงสร้างที่เรียกว่าเฟอร์โรซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติด้านการต้านทานต่อแรงอัดและแรงดึงสูง ทนต่อแรงกระแทกได้ดี

1. ประวัติ (3)

การใช้คอนกรีต และเหล็กจะใช้ในอาคารต่าง ๆ คุ้นเคยใช้ในตึกสูง, สะพานถนน ตัวอย่างแรกของคอนกรีต คือ เรือที่ทำจากเฟอร์โรซีเมนต์ JOSEPH-LOUIS LAMBOT'S ชาวฝรั่งเศสซึ่งเป็นคนแรกที่ออกแบบเรือโดยใช้การดัดเหล็กในปี 1847 ซึ่งถือว่าเป็นกำเนิดของคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในต้นปี 1940 PIER LUIGI NERVI นำแนวความคิดของ เฟอร์โรซีเมนต์มาทำชิ้นส่วนวัสดุที่มีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันและสามารถรับแรงได้ดีและในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 NERVI ก็สาธิตการใช้เฟอร์โรซีเมนต์ เป็นวัสดุในการทำเรือและสร้างขนาดขับเคลื่อน 165 ตัน ชื่อ"IRENE" ด้วย เฟอร์โรซีเมนต์ หนา 1.4 นิ้ว น้ำหนักเบากว่าสร้างด้วยไม้ 5 % เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า 40 % และสามารถใช้งานได้ดี ตลอดจนไม่ต้องดูแลรักษา

การใช้เฟอร์โรซีเมนต์ได้รับการยอมรับใช้เป็นวัสดุในการทำเรือ ในช่วงต้นของทศวรรษ 1960 ในอังกฤษ นิวซีแลนด์ และออสเตรเลีย ในปี 1966 เรือชื่อ "AWAHNEE"

ของชาวอเมริกัน ที่ทำในนิวซีแลนด์ ยาว 53 ฟุต ได้เดินทางรอบโลกโดยสวัสดิภาพทำให้มีการทำเรือที่ทำจากเฟอร์โรซีเมนต์ ค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้น

2. คุณลักษณะของเฟอร์โรซีเมนต์

ในปี 1947 NERVI ก็เริ่มสร้างอาคารโดยใช้เฟอร์โรซีเมนต์ โดยสร้างอาคารเก็บของขนาดเล็ก แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงและการใช้งานเอนกประสงค์ มีการสร้างโวล (VAULT) ขนาด 50 ฟุต คลุมสระว่ายน้ำที่ ITALIAN NAVAL ACADEMY และก็สร้าง TURIN EXHIBITION HALL ซึ่งเป็นอาคารยาว 300 ฟุต

2.1 ข้อเด่น

- สามารถทำให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ โดย อาศัยการดัดเหล็กเสริมโครง แล้วนำเหล็กเสริมแบบตะแกรงปูทับแล้วฉาบด้วยซีเมนต์จะได้โครงสร้างที่เป็นรูปร่างต่างๆ ตามเหล็กเสริมโครงซึ่งต่างจาก คอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆ ไปที่ต้องควบคุมรูปร่างด้วยไม้แบบ
- การทำเฟอร์โรซีเมนต์ ไม่ต้องใช้โรงงาน และเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ต่าง ๆ แต่ใช้การผสมซีเมนต์ด้วยมือ
- ใช้วัสดุราคาต่ำ ราคาส่วนใหญ่อยู่ที่ค่าแรงงานซึ่งเหมาะสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนาเนื่องจากราคาค่าแรงงานค่อนข้างถูกปริมาณของวัสดุที่น้อยกว่าอย่างอื่น เช่น คอนกรีตเสริมเหล็ก เพราะเฟอร์โรซีเมนต์ มีความบางกว่า น้ำหนักน้อยกว่าทำให้ประหยัดค่าวัสดุ และ การขนส่งลงได้มาก
- ความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับไม้ และน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับเหล็กมีกำลังรับแรงอัด และแรงดึงได้สูง
- เฟอร์โรซีเมนต์มีความทนทานมากเนื่องจากไม่เน่า ไม่เป็นสนิม ไม่แตกร้าว หรือผุกร่อนได้ง่าย ซึ่งเฟอร์โรซีเมนต์นี้เหมาะกับการต่อเรือ พราะความแข็งแกร่งจะเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งาน ในขณะที่วัสดุอย่างอื่นถ้านำมาทำเป็นเรือ ความแข็งแกร่งจะลดลง

- มีความต้านทานต่อสารเคมีต่าง ๆ ได้สูง ผิดกับเหล็กและโลหะอื่น ๆ ที่ถูกกัดกร่อน และ เป็นสนิมได้ง่าย
- สามารถต้านทานต่อแรงกระแทก และเมื่อมีความเสียหาย ซีเมนต์มักจะไม่หลุดออกจากโครงสร้าง
- สามารถเก็บเสียง และทนต่อแรงสั่นสะเทือน
- เป็นฉนวนกันความร้อน เนื่องจากเฟอร์โรซีเมนต์นำความร้อนได้ต่ำมาก ประมาณ 1 ใน 6 ของเหล็ก
- เฟอร์โรซีเมนต์ไม่ต้องการ การบำรุงรักษาเนื่องจากสามารถต้านทานต่อการเน่าเปื่อย การ เป็นสนิม ความร้อน ความชื้น และการผุกร่อนต่อสารเคมี
- การซ่อมแซมทำได้ง่าย สะดวก และประหยัด โดยการทำความสะอาดรอยแตกร้าว แล้วนำมอร์ต้าใบกลงส่วนที่เสียหาย ซึ่งมักเกิดเป็นแห่ง ๆ เท่านั้นค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม และเวลาที่ใช้ต่ำมาก เฟอร์โรซีเมนต์ที่ได้รับการซ่อมแซมแล้วจะสามารถรับกำลังต่าง ๆ ได้เหมือนเดิม

3. การประยุกต์ใช้งาน (4)

เฟอร์โรซีเมนต์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานก่อสร้าง ๆ ดังนี้

- เรือสินค้า และเรือหาปลา
- สะพาน
- อู่เรือ
- ยุ้งฉางเก็บพืชผลทางเกษตรกรรม
- ถังเก็บน้ำ
- เสาโทรศัพท์ และเสาไฟฟ้า
- เรือลากจูง
- ฉางเก็บน้ำตาลและแป้งต่าง ๆ
- ท่อน้ำและรางส่งน้ำเพื่องานชลประทาน
- งานซ่อมแซมบ่อ
- รางใส่อาหารและน้ำสำหรับสัตว์เลี้ยง
- ท่อระบายความร้อน
- ท่อน้ำ และทางระบายน้ำ
- แผ่นหลังคา
- ฝาผนัง
- พื้น
- อุโมงค์ และงานเหมืองต่าง ๆ
- ที่เก็บอาหารถาวร
- ที่เก็บน้ำมันพืช
- ผนังและแผ่นกระเบื้องในงานตกแต่ง
- ไม้แบบใช้ในงานก่อสร้าง
- เตาเผา

- งานซ่อมแซมบ่อ
- รางใส่อาหารและน้ำสำหรับสัตว์เลี้ยง
- ถังหมักมันสัมปะหลัง
- รั้ว
- ไม้แบบใช้ในงานก่อสร้าง
- เตาเผา
- ถังย้อมสี
- เครื่องอบแห้ง เนื้อมะพร้าว

4. วัสดุที่ใช้ทำเฟอร์โรซีเมนต์

4.1 มอร์ต้า (MORTAR)

วัสดุยึดเกาะที่ใช้ในงานเฟอร์โรซีเมนต์ คือ มอร์ต้าซึ่งเป็นส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อทำให้สามารถ รับแรงอัดได้สูง (COMPRESSIVE STRENGTH) ป้องกันการรั่วซึมของน้ำ (IMPERMEABILITY) ป้องกันสารเคมี (CHEMICAL RESISTANCE) และมีความสามารถในการทำงานได้ดี (WORKABILITY) ชนิดของซีเมนต์ที่นิยมใช้ในงานโครงสร้างเฟอร์โรซีเมนต์มีดังนี้

- ORDINARY PORTLAND CEMENT (TYPE 1) นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะให้กำลังได้ดีโดยใช้ระยะเวลาไม่มากนักซึ่งเหมาะที่จะใช้กับการรับกำลังในโครงสร้าง อีกทั้งยังให้ความร้อนจากปฏิกิริยาเคมีไม่มากนัก
- HIGH EARLY STRENGTH CEMENT (TYPE 3) นิยมใช้น้อยกว่า TYPE 1 แต่จะใช้กับงานที่ต้องการรับกำลังได้เร็วกว่า TYPE 1 แต่กำลังรับแรง อัดประลัย (ULTIMATE STRENGTH) ก็ไม่ได้มากกว่า TYPE 1 มากนัก ใช้กับงานที่ต้องการถอดแบบเร็ว หรือกรณีที่ก่อสร้างในอุณหภูมิต่ำ
- PORTLAND BLAST-FURNACE CEMENT มีคุณสมบัติคล้าย TYPE 1 ได้จากการผสมตะกรัน (SLAG) บดละเอียด ผสมซีเมนต์ TYPE 1 ทำให้มีความสามารถต่อต้านสารเคมีมากขึ้น เกิดความร้อนต่ำกว่าและได้กำลังช้ากว่า TYPE 1 เล็กน้อย แต่กำลังรับแรงอัดประลัย ใกล้เคียงกับ TYPE 1

4.2 ทราย (SAND)

เป็นวัสดุเฉื่อยจะมีจำนวน 60% -70% ของปริมาณมอร์ต้าจะใช้ ทรายธรรมชาติ

ซึ่งอาจมีส่วนผสมของวัสดุหลายชนิดปนกันอยู่ต้องพิจารณาให้ดีมิฉะนั้นจะมี ผลเสียต่อโครงสร้างทรายที่ใช้ต้องมีขนาดคละที่ดี (WELL-GRADED SAND) เม็ดทรายมีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย และต้องมีความสะอาดไม่มีอินทรี วัตถุเจือปน เช่น เศษไม้ ใบไม้ผุดิน หรือ SILT วิธีง่ายที่ใช้ตรวจสอบปริมาณสิ่งเจือปน คือ นำทรายตัวอย่างมาใส่ในขวดใสหนา 2 นิ้ว แล้วใส่น้ำ ให้ ท่วมเหนือทรายประมาณ 1" ปิดปากขวดเขย่าไปมาแล้วทิ้งไว้ให้ตกะกอน สังเกตดูชั้นผิวหน้าของทรายจะมีเศษผง หรือสิ่ง เจือปนตกตะกอนอยู่ ถ้า หนามากกว่า 3/16" ไม่ควรนำทรายนั้นมาใช้

ตารางที่ 2 ขนาดกละของทราย

ขนาดตะแกรง	จำนวนที่ผ่านตะแกรง (เปอร์เซ็นต์)
3/8 นิ้ว (9.5 มิลลิเมตร)	100
# เบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)	95 - 100
# เบอร์ 8 (2.36 มิลลิเมตร)	80 - 100
# เบอร์ 16 (1.18 มิลลิเมตร)	50 - 85
# เบอร์ 30 (600 ไมโครเมตร)	25 - 60
# เบอร์ 50 (300 ไมโครเมตร)	10 - 30
# เบอร์ 100 (150 ไมโครเมตร)	2 - 10

ที่มา: FERROCEMENT PAMA,R.P หน้า 20

4.3 เหล็กเสริม (REINFORCING RODS OR SKELETAL STEEL) จุดประสงค์ที่ต้องเสริมเหล็กในโครงสร้าง ก็เพื่อทำหน้าที่เป็นโครงของโครงสร้างที่จะต้องถูกคลุมด้วยลวดตาข่ายทั้ง 2 ด้าน เพื่อรับ และ กระจายแรงดึงที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอันเกิดจาก

- การหดตัวของมอร์ต้า (SHINKAGE IN THE MORTAR) เกิดขณะที่มอร์ต้ากำลังจะแห้งและแข็งตัวการหดตัวนี้จะทำให้เกิดความเครียดตึงขึ้นอันจะ ทำให้เกิดรอยร้าวเปลี่ยนไปคือเป็นเฉพาะบริเวณผิวหน้าและขนาด เล็กมาก มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณ และ การกระจายของเหล็กเสริม

- เนื่องจากแรงภายนอก (EXTERNAL LOAD) ตลอดอายุ การใช้งานของโครงสร้างอาจจะเกิดแรงดัด (BENDING) และแรงบิด (TWISTING) อยู่เสมอซึ่งมอร์ต้าจะไม่สามารถรับแรงเหล่านี้ได้ด้วยตัวเอง จึงต้องมีการเสริมเหล็ก แต่ ก็จะเกิดการแตกร้าว (CRACK) แต่จะควบคุมได้ด้วยปริมาณการกระจาย และ ขนาดของเหล็กที่ใช้ชนิดของเหล็กที่ใช้ในงานโครงสร้างเป็นเหล็กเส้น ที นิยมใช้กันคือ

(1) เหล็กกล้าละมุน (MILD STEEL)

(2) เหล็กเหนียม (MEDIUM STEEL)

(3) เหล็กรับแรงดึงสูง (HIGH TENSILE STEEL)

ความจริงเหล็กกล้าละมุนก็เพียงพอสำหรับรับแรงแต่นิยมใชเหล็กรับแรงดึงสูง เพราะว่าเมื่อดัดเข้ารูปแล้วจะคงตัวดี ไม่บิดเบี้ยวเสียรูป ขนาดที่ใช้เส้นผ่านศูนย์กลาง 6-12 มม ทั้งเหล็กตามยาว และตามขวาง ระยะห่าง (SPACING) ใช้ประมาณ 10-30 ซม. ซึ่งปริมาณเหล็กเสริมไม่อาจคำนวณได้ แต่จะเสริมให้ระยะห่างมากที่สุดเท่าที่จะรองรับลวดตาข่ายให้ได้โครงเข้ารูปถูกต้องมากที่สุด

4.4 ลวดตาข่าย (REINFORCING MESH OR WIRE MESH) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเฟอร์โรซีเมนต์อันหนึ่งลวดตาข่ายนี้จะแตกต่างกันไปตามสถานที่ ทำโดยการนำเส้นลวดเล็ก ๆ มาถัก หรือ เชื่อม ติดกันเป็นแผ่นตาข่ายซึ่ง ต้องสามารถดัดงอหรือเข้าโค้งทำมุมต่าง ๆ ได้ง่าย การเสริมลวดตาข่ายต้องเสริมทั้งสองด้าน ของเหล็ก เสริม โดยลวดตาข่ายทำหน้าที่เป็นเสมือนแบบของมอร์ต้าที่ยังไม่แข็งตัว แต่เมื่อมอร์ต้าแข็งตัวแล้วลวดตาข่ายจะทำหน้าที่ป้องกันการแตกร้าวในมอร์ต้าและทำงานร่วมกับเหล็กเสริมในการรับแรงดึง แรงบิด ลวดตาข่ายมีหลายชนิด เช่น

4.4.1 HEXAGONAL WIRE MESH : นิยมใช้มากที่สุดเพราะ ราคาถูก สะดวกในการใช้งานทำจากลวดถักเป็นรูปหกเหลี่ยมมีทั้งชนิดอาบสังกะสี และไม่อาบสังกะสี ซึ่งกรณีอาบสังกะสีจะมีแรงยึดเหนี่ยว (BONDING) ระหว่างลวด และมอร์ต้าดีกว่าทั่วไป มักเรียกว่าลวดกรงไก่ (CHICKEN WIRE MESH) ขนาดที่นำมาใช้ในงานเฟอร์โรซีเมนต์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ถึง 1.00 มิลลิเมตร และความกว้างของช่วงเปิด 10 -25 มิลลิเมตร

4.4.2 WELDED WIRE MESH : ทำจากลวดแรงดึงต่ำ ถึงปานกลางนำมาเชื่อมติดกัน เป็นตะแกรงสี่เหลี่ยม มีการอบสังกะสีจะมีความแข็งแรงมากกว่า HEXAGONAL WIRE MESH ขนาดที่นิยมใช้เบอร์ 18 - 19 และระยะห่าง 0.5" มีจุดอ่อนที่รอยเชื่อมถ้ารอยเชื่อมไม่ดีจะหลุดได้ง่าย

4.4.3 WOVEN MESH : ทำจากลวดนำมาถักเป็นตะแกรงสี่เหลี่ยมไม่มีการเชื่อมตาข่ายชนิดนี้ไม่ค่อยเรียบร้อยนักเพราะเส้นลวดเคลื่อนได้ง่าย ใช้งานได้ไม่ดีเท่า 2 ชนิดแรก ในการเข้าโค้งสามารถดึงให้ยืดและเข้ารูได้ดี

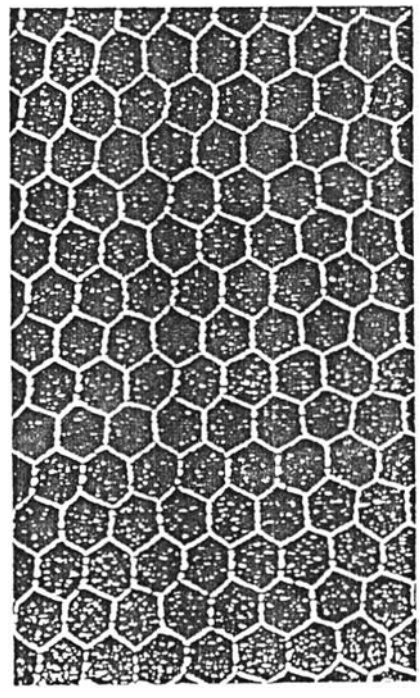
4.4.4 EXPANDED METAL MESH ชนิดนี้ไม่ค่อยนำมาใช้ในงานเฟอร์โรซีเมนต์ทำจากแผ่นเหล็กบาง ๆ นำมาดัด แล้วดึงให้เป็นช่องรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ไม่แข็งแรงเหมือนตาข่ายถักและเชื่อม แต่จะให้แรงยึดเหนี่ยวที่ดี ขนาดของช่องเปิด 2 - 2.5 เซนติเมตร

4.4.5 WATSON MESH : ทำจากลวดรับแรงดึงสูง และลวดธรรมดา นำมาถักเป็นตารางถี่ ๆ สลับกันไป ซึ่งจะทำให้แข็งแรงไม่บิดงอเมื่อนำมาใช้กับงานเฟอร์โรซีเมนต์ มีผลดีคือ

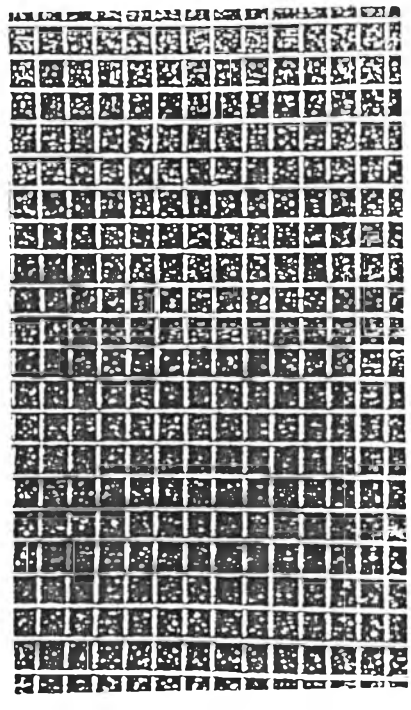
(1) เนื่องจากความมั่นคง แข็งแรง จึงทำให้ลดความถี่ของการผูกมัดลงได้

(2) เนื่องจากรูค่อนข้างถี่ ซึ่งเสมือนกับการรวม หลาย ๆ ชั้นของลวดตาข่ายชนิดอื่น จึงปู เพียงข้างละ 1 ชั้น ก็เพียงพอ

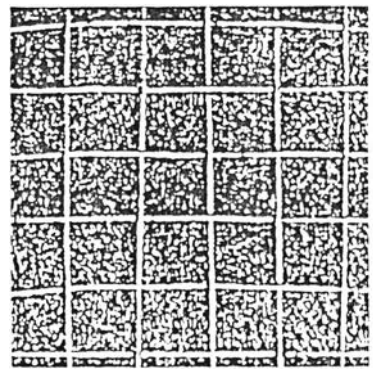
(3) ในโครงสร้างขนาดเล็กอาจไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กเพราะตัวลวดตาข่ายเอง ก็แข็งแรงอยู่แล้ว เพราะทำจากเหล็กรับแรงดึงสูงจึงทำให้ลดความหนาของผนังลงได้



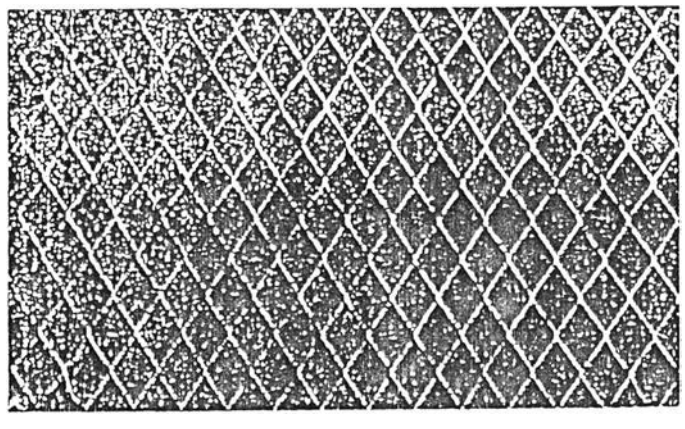
ภาพประกอบที่ 1. HEXAGONAL WIRE MESH



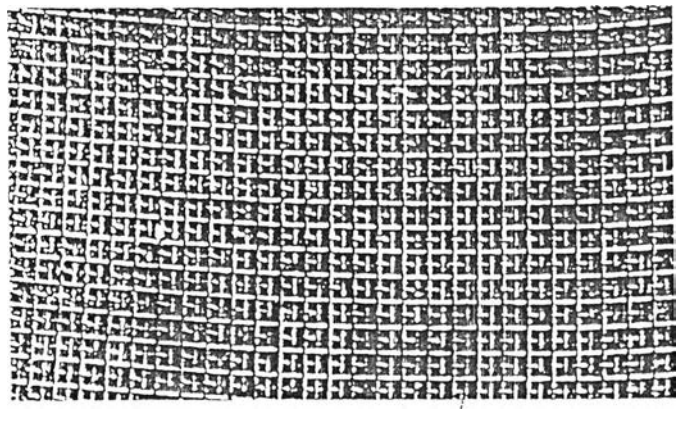
ภาพประกอบที่ 2. WELDED WIRE MESH



ภาพประกอบที่ 3. WOVEN MESH



ภาพประกอบที่ 4. EXPANDED METAL MESH



ภาพประกอบที่ 5. WATSON MESH

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทั่วไปของลวดตาข่ายชนิดต่าง ๆ

Mesh type	Weight of one layer per unit area		Mesh thickness		Steel content		Estimate stell surface per unit volume	
	kg/m 2	lb/m^2	mm.	in.	kg/m^3	lb/ft^3	$mm.^2/mm.^3$	in/in
Hexagonal wire mesh 0.5" x 22 gauge	0.58	0.12	1.4	0.06	410	26	0.275	6.99
Square welded 0.5" x 0.5 x 19 gauge	1.08	0.22	2.0	0.08	540	34	0.248	6.30
Expanded metal Expamet TCG263	1.22	0.25	2.5	0.10	490	31	0.245	6.22
Watson mesh	3.53	0.72	5.5	0.22	605	38	0.236	5.99

ที่มา: FERROCEMENT PAMA,R.P หน้า 11

4.5 ลวดผูก (TYING WIRE)

ใช้สำหรับมัดลวดตาข่ายกับเหล็กเสริมหรือมัดโครงเหล็กเสริมในกรณีที่โครงสร้างมีขนาดเล็กไม่สามารถเชื่อมได้ ลวดที่ใช้ควรเป็นลวดอาบสังกะสีชนิดอ่อน(SOFT GALVANIZED WIRE) ขนาดเบอร์ 24 - 26 (ประมาณ 1.5 มม.) หรือบางทีอาจใช้เศษของลวดตาข่ายมัดก็ได้

4.6 น้ำ (WATER)

น้ำที่ใช้ผสมมอร์ต้า อาจจะเป็นตัวลดกำลังของเฟอร์โรซีเมนต์ได้ถ้ามีคุณภาพไม่ดี สิ่งที่เจือปนอยู่ในน้ำจะมีผลต่อเวลาการแข็งตัว กำลังของ มอร์ต้า ดังนั้นน้ำที่จะนำมาใช้ผสม หรือบ่มต้องสะอาดไม่มีดินโคลน กรดเกลือหรือ อินทรีย์วัตถุต่าง ๆ เจือปนมากนักอาจกล่าว ได้ว่า น้ำที่ใช้นั้นควรจะสะอาดพอที่จะใช้ดื่มได้

4.7 สารผสมเพิ่ม (ADMIXTURES)

เป็นสารที่ใช้เพื่อที่จะเพิ่มคุณภาพบางประการของมอร์ต้า เช่นเพื่อ ความสามารถในการทำงาน (WORKABILITY) ลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสม ยืดเวลาการแข็งตัวป้องกันการรั่วซึมของน้ำ เป็นต้น สารผสมเพิ่ม ที่นิยมใช้กับงานเฟอร์โรซีเมนต์ คือ

- สารลดน้ำ (WATER- REDUCING ADMIXTURE) เป็นสาร ช่วยลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมอันจะได้มอร์ต้าที่มี กำลังดี อีกทั้งเป็นตัวช่วยเพิ่ม WORKABILITY ด้วย เพราะสารนี้จะทำให้เกิดฟองเล็ก ๆ มากมายทำให้ลื่นทำงานง่ายขึ้นโดยไม่ต้องใช้ปริมาณน้ำผสมมาก
- สารหน่วงเวลาการแข็งตัว (RETARDING ADMIXTURE) เป็น สารช่วยยืดระยะเวลาการแข็งตัวของมอร์ต้าออกไปทำให้ทำงานฉาบ และตกแต่งได้ทันเวลา
- สารกันซึม (WATER PROOFING ADMIXTURE) ป้องกันการรั่วซึมของน้ำ
- สารเพิ่มกำลัง (ACCELERATING ADMIXTURE) เป็นสารช่วยเพิ่มกำลังให้แก่มอร์ต้าแต่สารผสมเพิ่มชนิดนี้ไม่ได้รับความนิยมมากนัก เพราะสามารถกำหนดปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ (WATER-CEMENT RATIO) เป็นตัวเพิ่มกำลังให้แก่มอร์ต้าแทนได้

การใช้สารผสมเพิ่มต่าง ๆ จะต้องอ่านคู่มือการใช้ และใช้ให้ถูกต้องจึงจะให้ประโยชน์ถ้าการใช้ไม่รอบคอบอาจเป็นผลร้ายมากกว่าผลดี ดังนั้นก่อนการนำไปใช้ ควรที่จะมีการหล่อตัวอย่างมอร์ต้าที่ผสมสารเพิ่มที่ต้องการ แล้วนำไปทดสอบให้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจเสียก่อน

การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่ทำมาแล้ว

- **Mathews** (5) ได้ศึกษาและทดลองเกี่ยวกับช่องตรงโครงเหล็กของเฟอร์โรซีเมนต์ และพบว่าเฟอร์โรซีเมนต์ เหมาะมากที่จะใช้เป็นหลังคาหรือพื้นของอาคารพักอาศัย เพราะอากาศที่อยู่ในช่องของโครงเหล็กจะช่วยลดความร้อนจากภายนอกที่จะผ่านเข้าไปในอาคารพักอาศัย

- **Ahmed and Dawood** (6) พบว่า shell - type เฟอร์โรซีเมนต์ เหมาะที่จะใช้เป็นส่วนประกอบของหลังคาอิมเนเซียมเพราะต้นทุนจะถูกลง 20 % และลดเวลาในการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังทนทานกว่า conventional asbestos cement และสังกะสี

- **Anwar** (7) แสดงให้เห็นว่าเฟอร์โรซีเมนต์เหมาะสำหรับบ้านราคาถูกในปากีสถานโดยใช้ทำกำแพงและหลังคา เฟอร์โรซีเมนต์มีราคาถูกแต่ทนทาน ตารางที่ 3,4 เปรียบเทียบ Ferrocement wall panel และ brick masonry wall panel ตารางที่ 5,6 เปรียบเทียบ Ferrocement roofing units และ reinforced concrete roof.

ตารางที่ 4 Ferrocement Wall Panel Economic Analysis

No.	Item	Unit	Quantity	Unit Price(Rs.)	Total Price (Rs.)
1	Steel 6 mm dia. @ 300 mm c/c both ways	m	66	3.40	224.40
2	Steel 6 mm dia. for anchorages	m	10	3.40	34.00
3	Wire mesh (2 layers)	m^2	18	20.00	360.00
4	Binding wire	kg	1	20.00	20.00
5	Portland cement	bag	4	110.00	440.00
6	Sand	m^3	0.28	45.00	12.60
				Grand Total	1091.00
				Cost per m^2	121.00

ตารางที่ 5 Brick Masonry Wall Panel

No.	Item	Unit	Quantity	Unit Price(Rs.)	Total Price (Rs.)
1	Brick	pieces	990	1.00	990.00
2	Portland cement	bags	4.85	110.00	533.50
3	Sand	m^3	0.75	45.00	333.75
				Grand Total	1557.25
				Cost per m^2	173.03

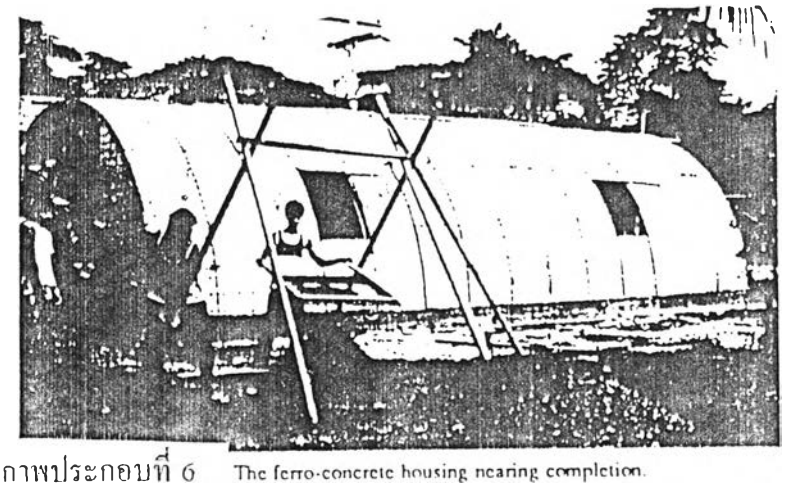
ตารางที่ 6 Ferrocement Roofing Units

No.	Item	Unit	Quantity	Unit Price(Rs.)	Total Price (Rs.)
1	Longitudinal skeletal steel 4 mm dia. (bottom)	m	75	1.40	105.00
2	Longitudinal skeletal steel 4 mm dia. (sides)	m	110	1.40	154.00
3	Transverse steel stirrups 3 mm dia.	m	80	0.84	67.20
4	Binding wire	kg	1	20.00	20.00
5	Portland cement	bag	5.5	110.00	605.00
6	Sand	m^3	0.28	45.00	12.60
				Grand Total	1713.80
				Cost per m^2	190.40

ตารางที่ 7 Reinforced Concrete Roof

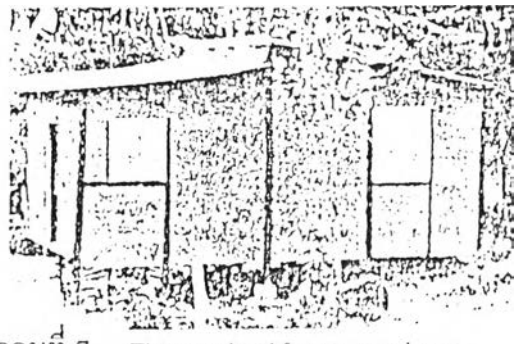
No.	Item	Unit	Quantity	Unit Price(Rs.)	Total Price (Rs.)
1	Reinforcement steel 12.5 mm dia. @ 250 mm c/c	m	80	14.00	1120.00
2	Portland cement	bag	6.5	110.00	715.00
3	Sand	m^3	0.50	45.00	22.50
4	Course aggregate	m^3	1.0	450.00	450.00
5	Shuttering	m^2	9	10.00	90.00
				Grand Total	2397.50
				Cost per m^2	266.40

- **Baino** (8) ยืนยันว่าประเทศที่ต้องการสร้างบ้านหรือตึกที่มีราคาถูก ทนทาน และใช้เวลาสร้างน้อยควรใช้ ferro-concrete structures เพราะจะช่วยประหยัดค่าวัสดุ ค่าแรง และเวลา และมีน้ำหนักเบา ภาพประกอบที่ 6 เป็นบ้านของ Phillippine Navy ที่สร้างจาก Ferro-concrete



ภาพประกอบที่ 6 The ferro-concrete housing nearing completion.

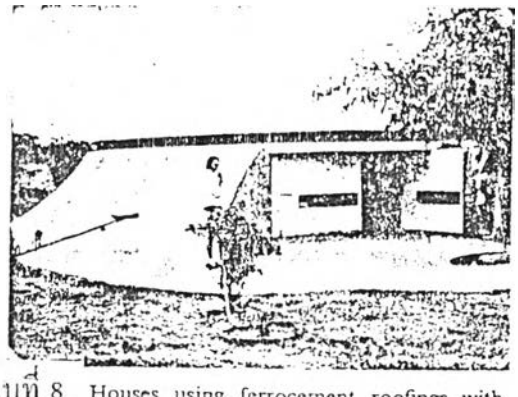
- **โดมิกัน รีพลับลิค :** มีการสร้างบ้านโดยใช้เฟอร์โรซีเมนต์ จากภาพประกอบที่ 7 เป็นบ้านชั้นเดียวมีห้อง 2-3 ห้อง (9)



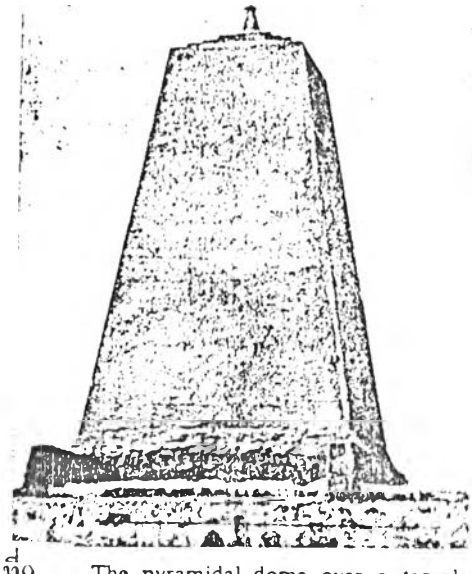
ภาพประกอบที่ 7 The completed ferrocement house.

- อินเดีย : ที่เมือง Auroville ได้เริ่มสร้างบ้านที่ใช้เฟอร์โรซีเมนต์เป็นหลังคาเพราะได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ภาพประกอบที่ 8 เป็นภาพบ้านที่ใช้เฟอร์โรซีเมนต์เป็นหลังคาโดยไม่มีอะไรค้ำ (10)

: ที่เมือง Jaipur มีการสร้างโดมรูปปิรามิดโดยใช้เฟอร์โรซีเมนต์ ภาพประกอบที่ 9 เนื่องจากเฟอร์โรซีเมนต์มีน้ำหนักเบาและง่ายต่อการก่อสร้างไม่ต้องใช้คนงานที่มีทักษะมาก (11)

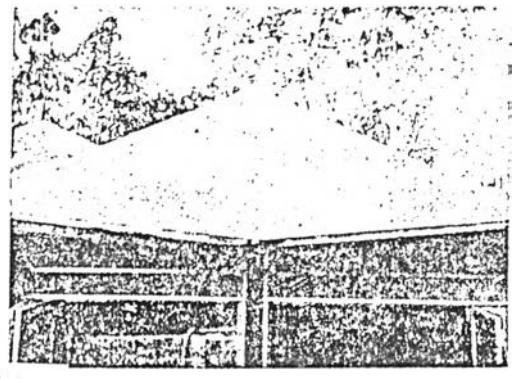


ภาพประกอบที่ 8 Houses using ferrocement roofings with unsupported span of 5 m to 10 m.



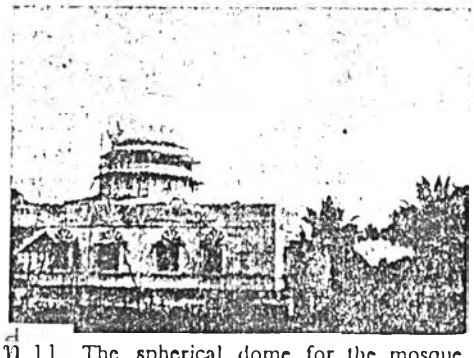
ภาพประกอบที่9 The pyramidal dome over a temple in Jaipur, India.

: ที่หมู่บ้าน Hansol มีการใช้เฟอร์โรซีเมนต์เป็นชั้นกันน้ำทับหลังคาไม้อันเก่า ภาพประกอบที่ 10 ซึ่งจะมีอายุงานถึง 20 ปี (12)



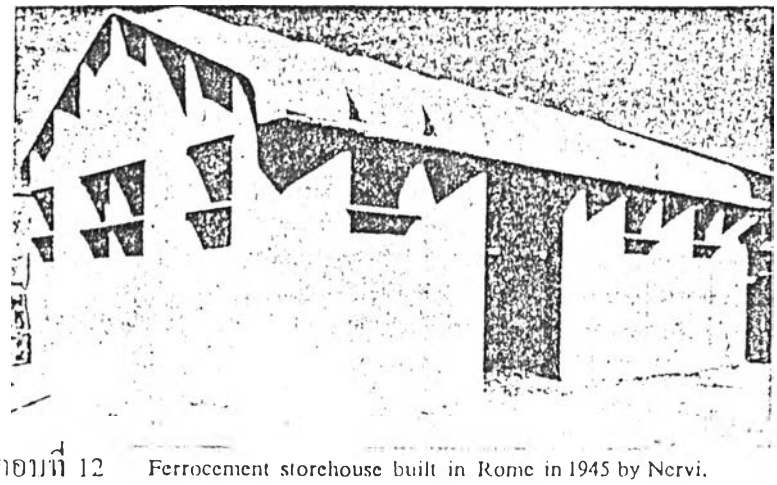
ภาพประกอบที่ 10 Ferrocement used as protection and waterproofing layer to wooden roofing at Hansol Village.

- **อินโดนีเซีย** มีการสร้างโดมจากเฟอร์โรซีเมนต์ที่ Ujung Pandang และ Banda ภาพประกอบที่ 11 และยังมีการใช้กำแพงเฟอร์โรซีเมนต์สำหรับที่พักอาศัยใน South Sulawesi (13)



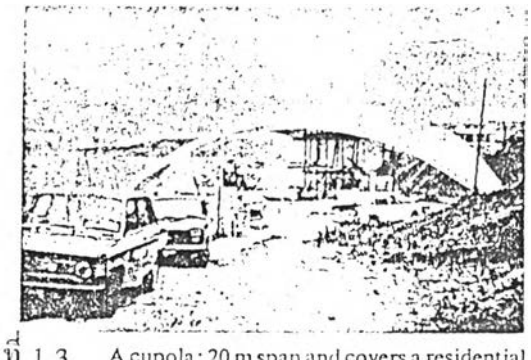
ภาพประกอบที่ 11 The spherical dome for the mosque in Banda.

- อิตาลี Nervi เป็นผู้ริเริ่มสร้างโกดังโดยใช้เฟอร์โรซีเมนต์ในปี 1945 ที่โรม ภาพประกอบที่ 12 นอกจากนี้ยังใช้เฟอร์โรซีเมนต์ในการสร้างโดม,หลังคาสเตเดียม,โรงละคร และร้านอาหาร (14)

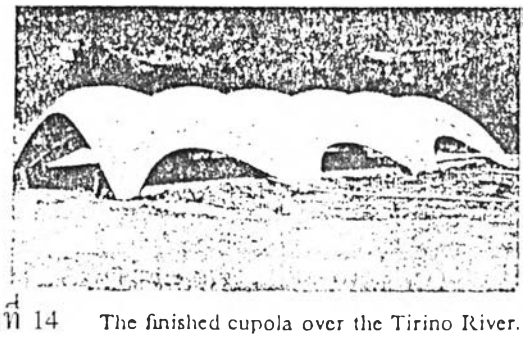


ภาพประกอบที่ 12 Ferrocement storehouse built in Rome in 1945 by Nervi.

- **V Barberio** ใช้เฟอร์โรซีเมนต์ซึ่งมีน้ำหนักเบาสร้างเป็น cupola (15)
  - ภาพประกอบที่ 13 cupols ที่ใช้กันแดดในเขตที่พักอาศัย
  - ภาพประกอบที่ 14 cupols ที่ใช้กันแดดในเขตที่พักอาศัยที่แม่น้ำ Tirino

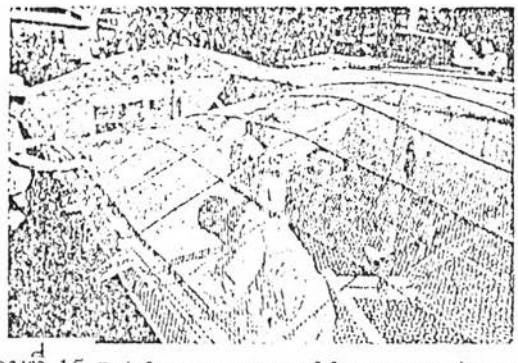


ภาพประกอบที่ 13 A cupola; 20 m span and covers a residential area of about 150 m^2.

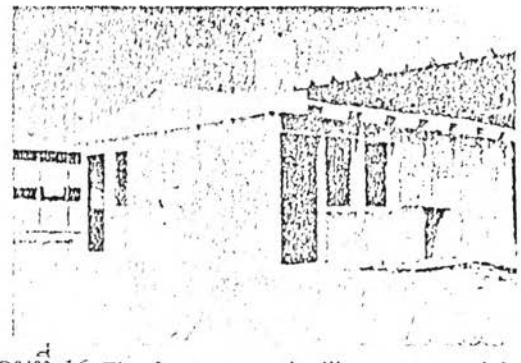


ภาพประกอบที่ 14 The finished cupola over the Tirino River.

- **เม็กซิโก** : ใช้เฟอร์โรซีเมนต์ในการทำโดม เพราะมีน้ำหนักเบา และลักษณะการติดตั้งช่วยเพิ่มความมั่นคงให้กับตัวโดมด้วย ภาพประกอบที่ 15,16 บ้านที่สร้างโดยคนคุกในคุก Tabasco ใช้เฟอร์โรซีเมนต์เป็นผนังและหลังคา (16)

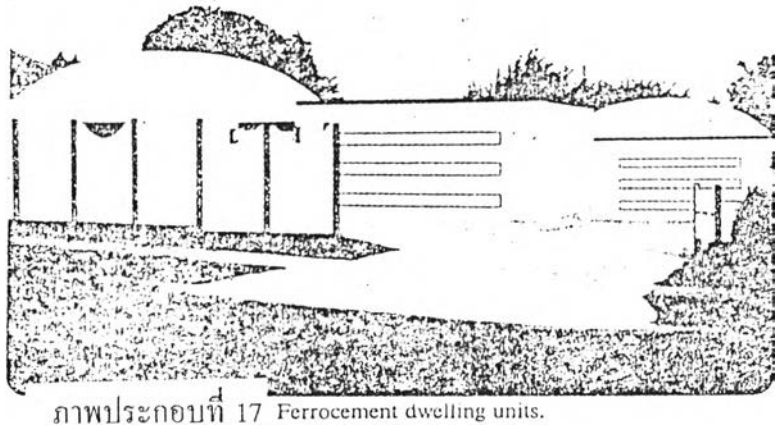


ภาพประกอบที่ 15 Reinforcement cage of ferrocement domes.



ภาพประกอบที่ 16 The ferrocement dwelling constructed by the prisoners of the Tabasco Jail.

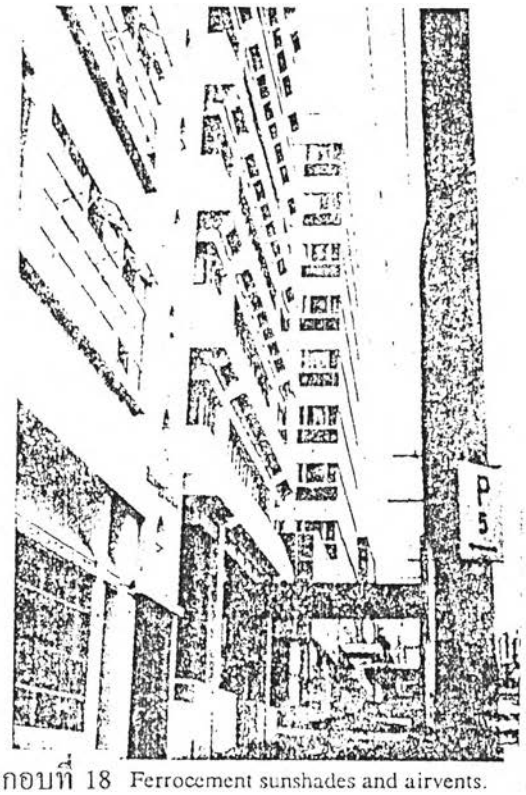
- **นิวซีแลนด์** : Gainor Jackson สร้างบ้านพักอาศัยจากเฟอร์โรซีเมนต์ ภาพประกอบที่ 17 ซึ่งเขาอ้างว่าเขาสามารถประหยัดต้นทุนได้ถึง 30 % (17)



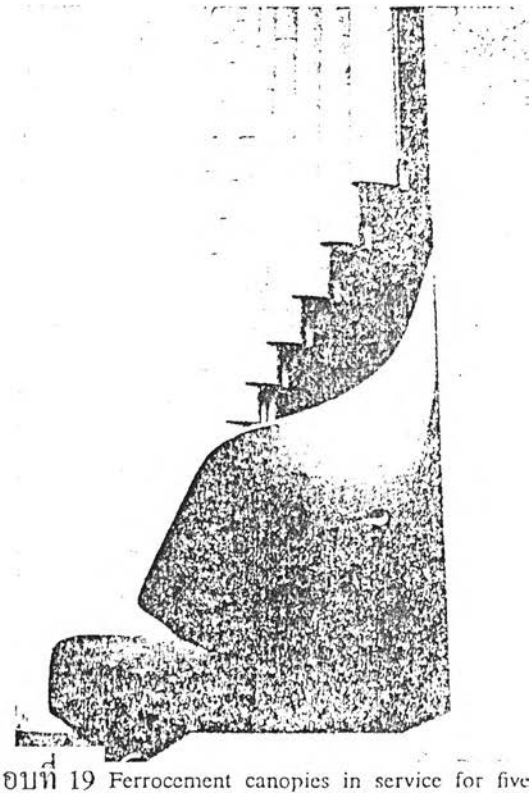
ภาพประกอบที่ 17 Ferrocement dwelling units.

: ที่ Swanson ทาวเวอร์ เมือง Auckland แผ่นกันแดดและช่องลมทำจากเฟอร์โรซีเมนต์และใช้ได้ผลดีมาก ภาพประกอบที่ 18

: ที่ West Plaza ตึกระฟ้าในเมือง Auckland ใช้เฟอร์โรซีเมนต์ทำกันสาดเพื่อเก็บน้ำฝนฝนจากผนังรับน้ำหนัก ภาพประกอบที่ 19

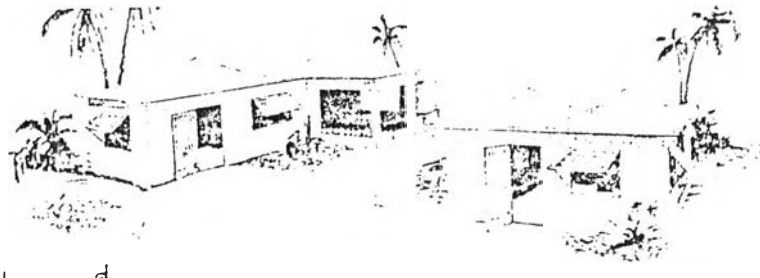


ภาพประกอบที่ 18 Ferrocement sunshades and airvents.



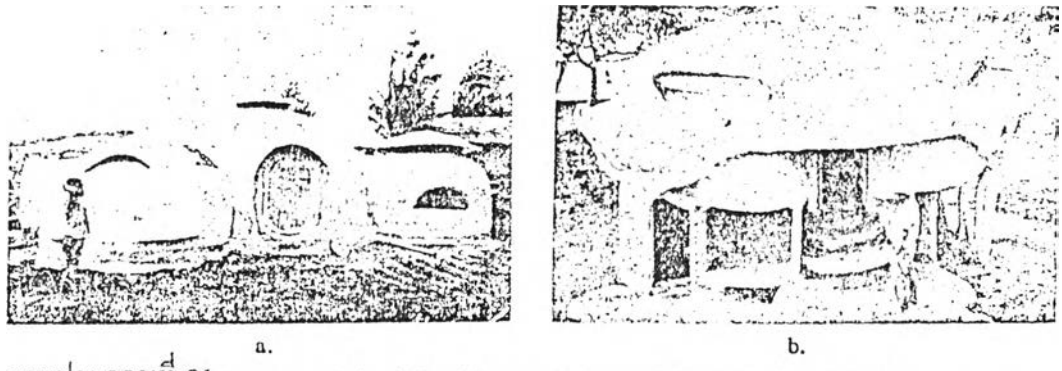
ภาพประกอบที่ 19 Ferrocement canopies in service for five years.

- **ปาปัวนิวกินี** : มีการพัฒนาการสร้างบ้านจากเฟอร์โรซีเมนต์เพื่อสนองความต้องการบ้านที่มีราคาถูกและต้านทานแผ่นดินไหวและพายุ ภาพประกอบที่ 20 ตัวอย่างบ้านที่สร้างจากเฟอร์โรซีเมนต์ซึ่งจะมีราคาประมาณ us.$ 4,000 เท่านั้น (18)



ภาพประกอบที่ 20 Low-cost ferrocement housing in Papua New Guinea.

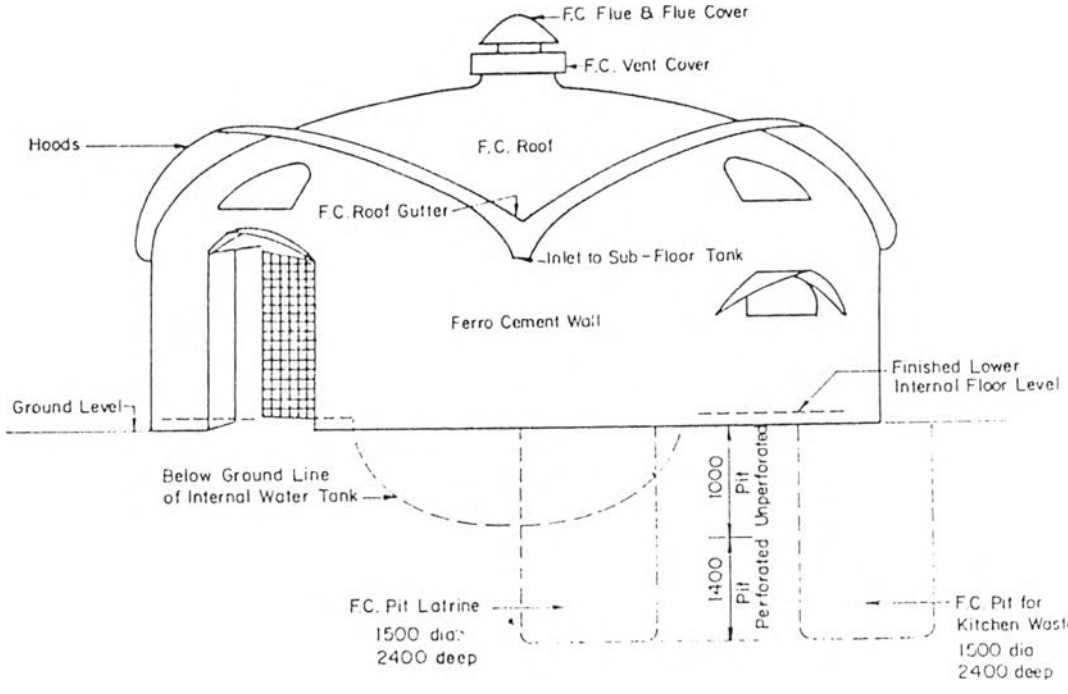
: ภาพประกอบที่ 21 ตัวอย่างบ้านที่เรียกว่า "Ferrigloo" เพราะเป็นการใช้เฟอร์โรซีเมนต์สร้างบ้านสไตล์ igloo ของชาวเอสกิโม (19)



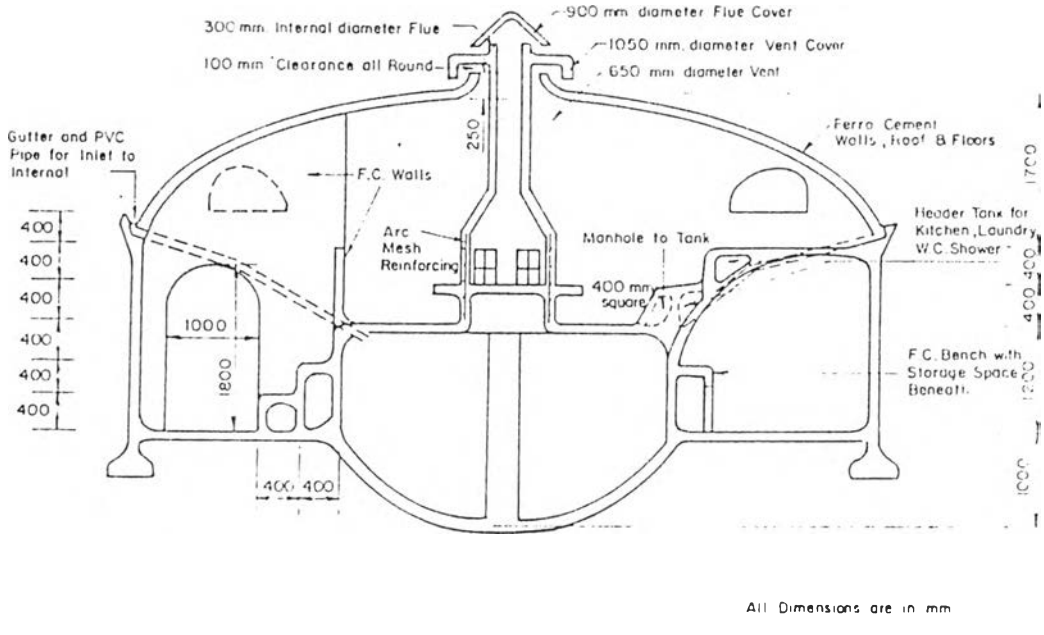
a. b.

ภาพประกอบที่ 21 Recent models of Ferrigloo are more mushroom like in appearance.

: ภาพประกอบที่ 22,23 แสดงแบบบ้านที่สร้างจากเฟอร์โรซีเมนต์ซึ่ง
ขายในราคาเพียง us$ 4,300

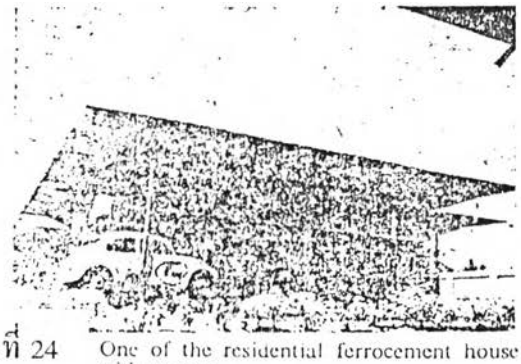


ภาพประกอบที่ 22



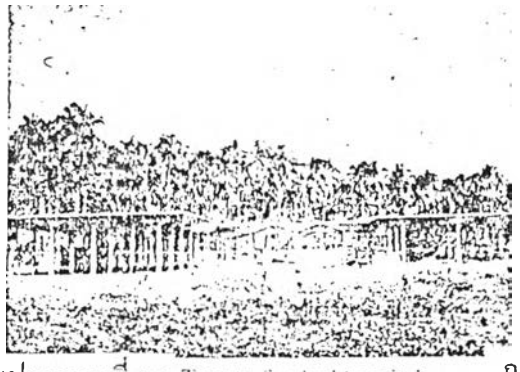
ภาพประกอบที่ 23

- **ฟิลิปปินส์** : บ้านพัก 22 หลัง ภาพประกอบที่ 24 บ้านพักของ Bishop ภาพประกอบที่ 25 โรงพยาบาล ภาพประกอบที่ 26 เป็นตัวอย่างของการใช้เฟอร์โรซีเมนต์ในฟิลิปปินส์และแผ่นของเฟอร์โรซีเมนต์ยังใช้เป็นรั้วอีกด้วย ภาพประกอบที่ 27

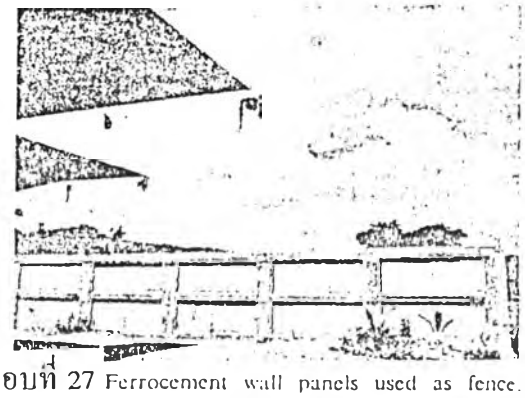


ภาพประกอบที่ 24 One of the residential ferrocement house with carport.

ภาพประกอบที่ 25 The Bishop's ferrocement residence.



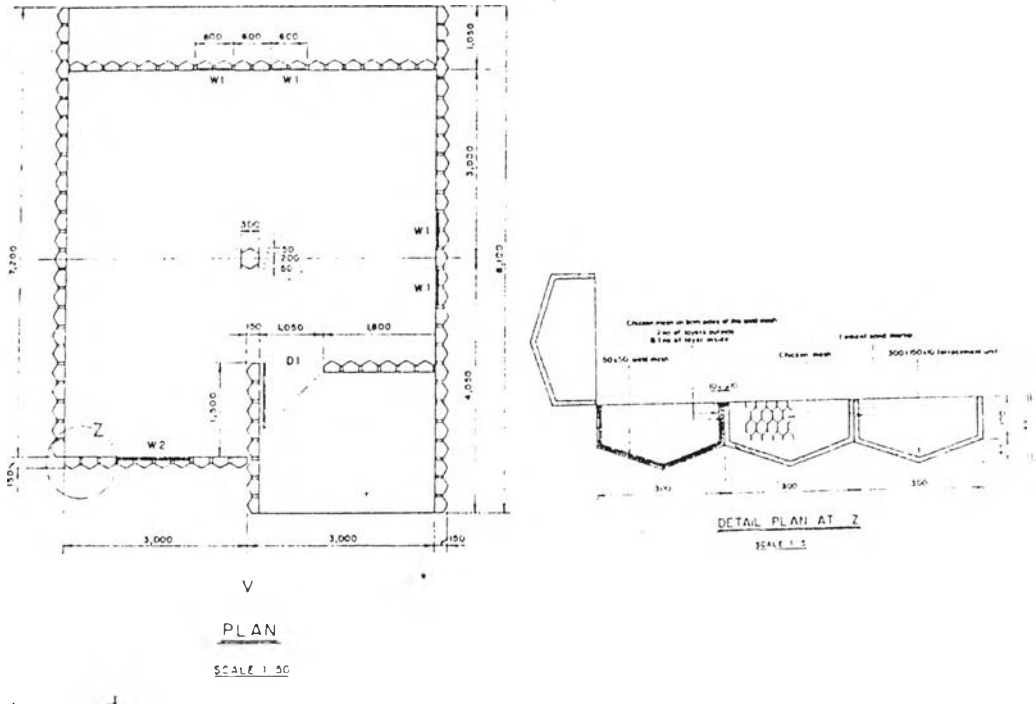
ภาพประกอบที่ 26 Twenty-five bed hospital.



ภาพประกอบที่ 27 Ferrocement wall panels used as fence.

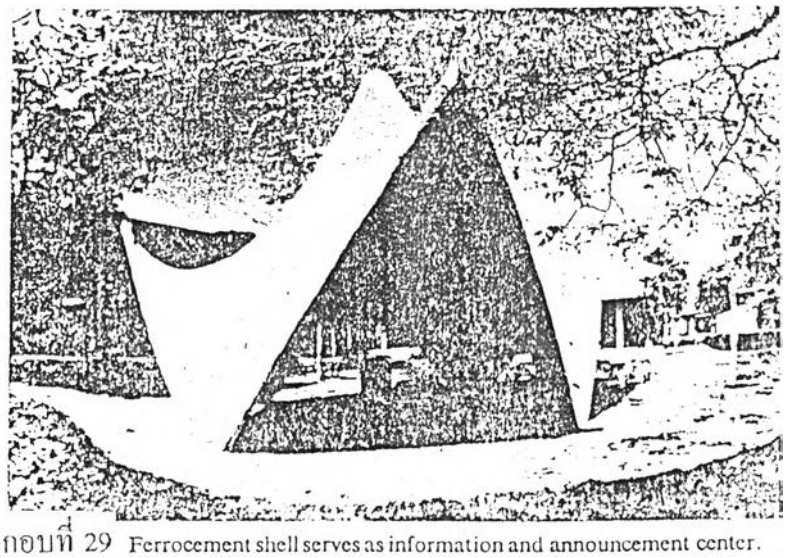
- **เปอร์โตริโก** : เฟอร์โรซีเมนต์ใช้ทำหลังคา,พื้น,ผนัง ในโครงการบ้านราคาถูกของรัฐบาลแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ได้รับการทดสอบว่าเหมาะสมกับอากาศในเขตร้อน และกำลังมีการตั้งโรงงานทำแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์อยู่ (20)

- **ศรีลังกา** : Building Research Institute of the Stale Engineering Corporation of Sri Lanha ได้พัฒนาส่วนประกอบของอาคารโดยใช้เฟอร์โรซีเมนต์ เช่น แผ่นหลังคา,ประตู,หน้าต่าง,ผนัง ภาพประกอบที่ 28 เป็นตัวอย่างของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ที่พัฒนาโดยสถาบันที่สามารถต้านทานพายุไซโคลนได้ (21)



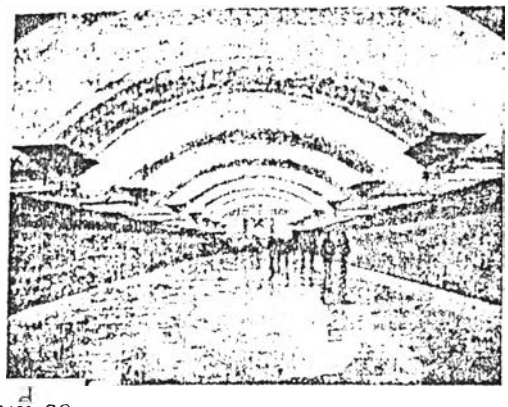
ภาพประกอบที่ 28 Prismatic ferrocement folded plate used for cyclone-resistant ferrocement houses.

- **อเมริกา** : ภาพประกอบที่ 29 เฟอร์โรซีเมนต์ shell ซึ่งใช้เป็นศูนย์ประชาสัมพันธ์ (22)

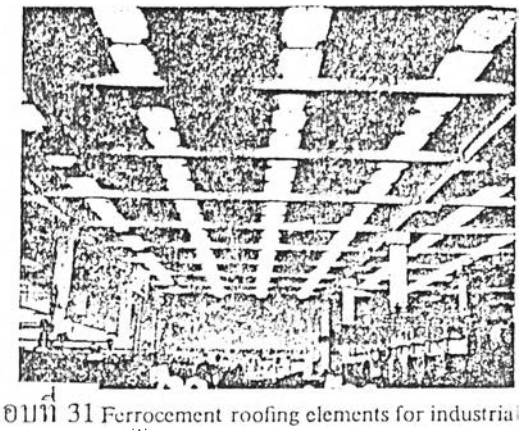


ภาพประกอบที่ 29 Ferrocement shell serves as information and announcement center.

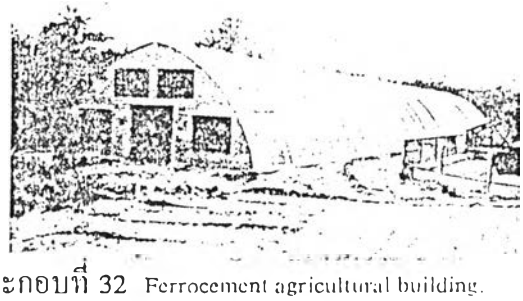
- **รัสเซีย** : เฟอร์โรซีเมนต์ใช้ครั้งแรกในรัสเซียเมื่อ 30 กว่าปีที่แล้ว เป็นหลังคารูปโค้งของตลาดแห่งหนึ่งในเลนินการ์ด หลังจากนั้นเมื่อเริ่มมีการพัฒนาการผลิตเฟอร์โรซีเมนต์จากการใช้แรงงานคนเป็นเครื่องจักรมากขึ้น ได้มีการใช้เฟอร์โรซีเมนต์ทั้งในภาคอุตสาหกรรม,เกษตรกรรม,คมนาคม และการก่อสร้าง ตัวอย่างเช่น ภาพประกอบที่ 30 หลังคาโค้งที่ทำโดยเฟอร์โรซีเมนต์ที่สถานีรถโดยสารในเลนินการ์ด (23) ภาพประกอบที่ 31 เพดานเฟอร์โรซีเมนต์ในโรงงาน ภาพประกอบที่ 32 โรงนาเฟอร์โรซีเมนต์



ภาพประกอบที่ 30 Ferrocement vault of 17 m span in one of the metro stations in Leningrad.

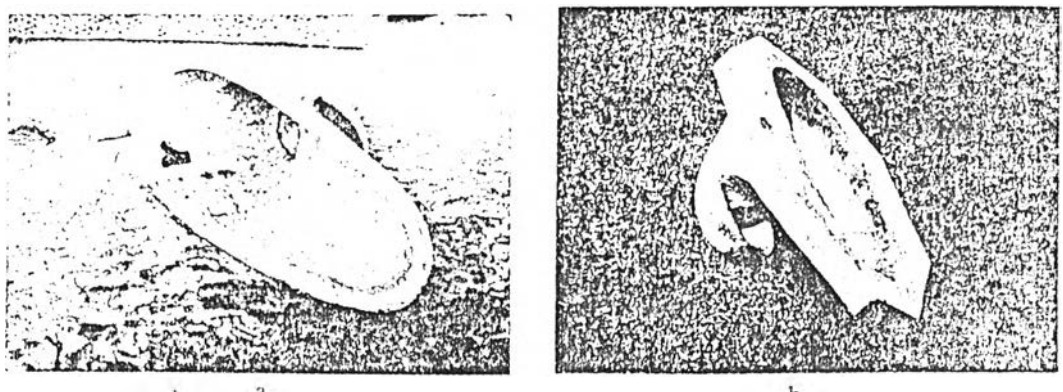


ภาพประกอบที่ 31 Ferrocement roofing elements for industrial ceilings.



ภาพประกอบที่ 32 Ferrocement agricultural building.

- โถส้วมเฟอร์โรซีเมนต์ ภาพประกอบที่ 33 : พัฒนาในประเทศไทยและบังคลาเทศ UNICEF ให้อู่เรือ Chittagong ในบังคลาเทศทำโถส้วมเฟอร์โรซีเมนต์สำหรับแจกจ่ายให้คนในชนบท (24)

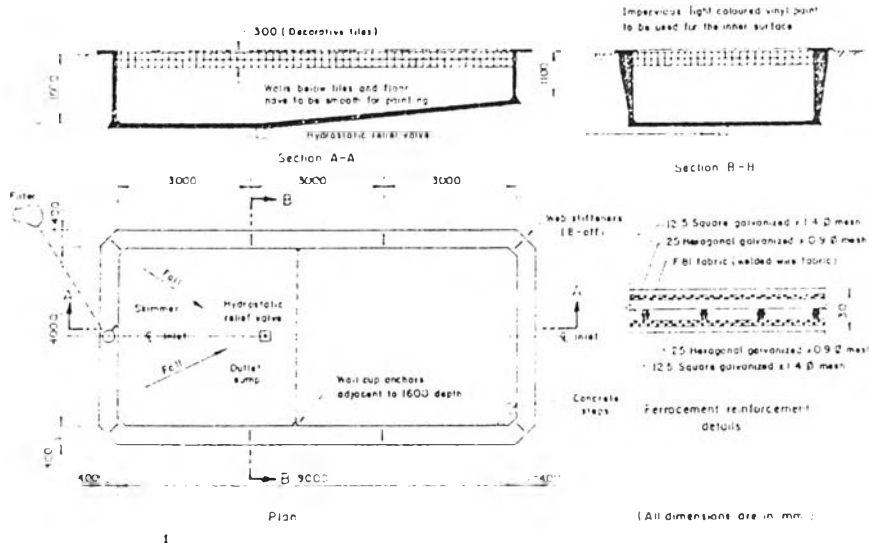


a. b.

ภาพประกอบที่ 33 Ferrocement toilet bowl constructed in (a) Bangladesh and (b) Thailand.

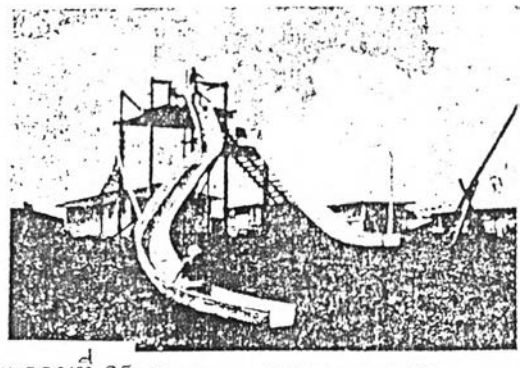
- แท้งค์น้ำและถังส้วมซึม : เฟอร์โรซีเมนต์ถือว่าเป็นวัสดุที่เหมาะสมมากที่จะทำแท้งค์และภาชนะบรรจุหลายรูปร่างหลายขนาด นิวซีแลนด์และอินเดียมีโรงงานผลิตและขายแท้งค์เฟอร์โรซีเมนต์หลายขนาด ในบังคลาเทศ,อินโดนีเซีย,มาเลเซีย,ประเทศไทยและอเมริกามีแท้งค์เก็บน้ำฝนเฟอร์โรซีเมนต์และถังส้วมซึมทำจากเฟอร์โรซีเมนต์

- สระว่ายน้ำ : ต้นคริสตวรรษที่ 70 ได้มีการสร้างสระว่ายน้ำจากเฟอร์โรซีเมนต์ในนิวซีแลนด์ ภาพประกอบที่ 34 แบบสระว่ายน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ที่รับสร้างในออสเตรเลีย (25)



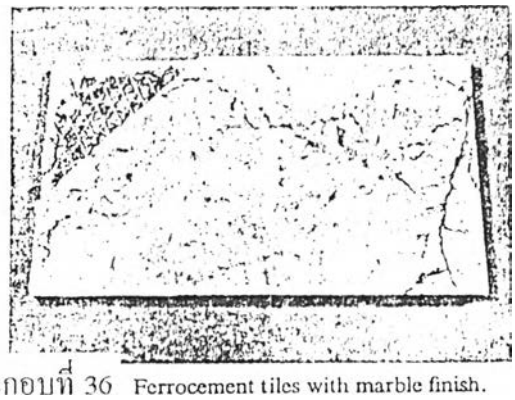
ภาพประกอบที่ 34 DETAILS OF A FERROCEMENT SWIMMING POOL

- สไลด์เด็กเล่น : ภาพประกอบที่ 35 สไลด์เด็กเล่นเฟอร์โรซีเมนต์ในนิวซีแลนด์ใช้ได้ประมาณ 2 ปี (17)



ภาพประกอบที่ 35 Ferrocement playground slide.

- กระเบื้องตกแต่ง : บริษัท Majima จำกัด ในญี่ปุ่น คิดค้นกระเบื้องผนังและพื้นจากเฟอร์โรซีเมนต์ด้านบนของกระเบื้องเฟอร์โรซีเมนต์ดูเหมือนหินอ่อนอย่างดี แต่มีแบบอื่น ๆ ด้วยมีรายงานว่ากระเบื้องเฟอร์โรซีเมนต์มีความแข็งแรงกว่าอิฐธรรมดา ภาพประกอบที่ 36 ตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ที่ด้านบนเป็นหินอ่อน (26)



ภาพประกอบที่ 36 Ferrocement tiles with marble finish.

จากรายละเอียดวัสดุที่ใช้ทำเฟอร์โรซีเมนต์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเฟอร์โรซีเมนต์ประกอบด้วยวัสดุที่สามารถหาได้สะดวกในทุก ๆ ท้องถิ่นส่งผลให้เฟอร์โรซีเมนต์เหมาะสมสำหรับไปใช้กับเทคโนโลยีการก่อสร้างในประเทศที่กำลังพัฒนา ด้วยเหตุผลต่าง ๆ ดังนี้

1. สามารถทำได้ด้วยตัวเอง
2. ใช้วัสดุน้อยกว่าการก่อสร้างระบบท้องถิ่น
3. ใช้วัสดุท้องถิ่น,แรงงานท้องถิ่น,เครื่องมือทั่ว ๆ ไป
4. สามารถปรับเปลี่ยนให้เป็นงานสถาปัตยกรรมที่สอดคล้องกับวัฒนธรรมและสภาพภูมิอากาศ
5. ทนทานต่อฝน,แผ่นดินไหว,พายุ
6. ดูแลรักษาง่าย

I 17388466