รายงานโครงการวิจัย

วัสดุก่อสร้างมวลเบาที่มีค่าการนำความร้อนต่ำจากส่วนผสมของเยื่อกระดาษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษ

วชิระ แสงรัศมี

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งบประมาณแผ่นดินปี พ.ศ. 2553

หัวข้อโครงการ : วัสดุก่อสร้างมวลเบาที่มีค่าการนำความร้อนต่ำจากส่วนผสมของเยื่อกระดาษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษ

ผู้วิจัย : วชิระ แสงรัศมี
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณแผ่นดินปี 2553

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการค้าหาศักยภาพของเยื่อกระดาษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษเพื่อนำมาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างมวลเบา เพื่อเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งแทนการฝังกลบหรือเผาทำลาย โดยศึกษาการนำเยื่อกระดาษเหลือทิ้งในปริมาณ 0,30,60 และ 90%ของน้ำหนักซีเมนต์ และศึกษาผลของการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกันระหว่างการใช้ดินลูกรังกับทรายผสมสีโดยใช้ซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปผลิตเป็นบล็อกก่อสร้างขนาด 20x40x7.5 ซม.และบล็อกประสานขนาด 12.5x25.x10 ซม. แล้วนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับบล็อกก่อสร้างที่จัดจำหน่ายในท้องตลาด

ชิ้นทดสอบค่าการรับแรงอัด ความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของชิ้นทดสอบ และนำอัตราส่วนที่เหมาะสมมาผลิตบล็อกต้นแบบทดสอบตาม มอก.57-2530 ภายหลังจากการบ่มครบ 28 วัน นำผลสมบัติของวัสดุมาวิเคราะห์เปรียบ เทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่าต้านทานความร้อนของวัสดุ

ผลการศึกษาพบว่าเยื่อกระดาษเหลือทิ้ง สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผสมมวลน้ำหนักเบาและเป็นฉนวนกันความร้อนได้ เมื่อนำเยื่อกระดาษเหลือทิ้งมาทดสอบหาสารโลหะหนักปนเปื้อน พบว่ามีโครเมียม(IV) ในปริมาณ 9.639 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, แคดเมียมในปริมาณ 0.125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ปรอทในปริมาณ 0.655 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ตะกั่ว ในปริมาณ 5.585 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสารหนูในปริมาณ 1.497 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนำมาเปรียบเทียมกับข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับแผ่นอัดสำหรับงานอาคาร ตกแต่งและอุตสาหกรรมเครื่องเรือน (Panels for the Building, Decorating and Furniture Industry) มีที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ผลของการใช้ดินลูกรังเป็นวัตถุดิบผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างจะได้ผิวสีของเนื้อวัสดุเป็นสีน้ำตาลเทา และสามารถลดความหนาแน่นของวัสดุได้กว่าทราย การใช้ทรายและผงสีเป็นวัตถุดิบ จะมีสมบัติของวัสดุที่ดีกว่าการใช้ดินลูกรัง คือ จะมีสมบัติการรับแรงอัดที่ดีกว่า มีค่าการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่า และมีหลากหลายสีได้จากการเติมผงสี

การผลิตบล็อกต้นแบบขนาด 20x40x7.5 ซม. ด้วยอัตราส่วน(SP6) 1:5:0.02:0.3 (ซีเมนต์:ทราย:ผงสี:เยื่อกระดาษ) จะได้ความหนาแน่นที่ 1264.09 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, ค่าการดูดซึมน้ำ 19.99 % ,ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.929 วัตต์ / เมตร องศาเคลวิน และค่าการรับแรงอัด 39.66 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 58-2530 บล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนัก (Non load bearing concrete Unit)

การผลิตบล็อกประสานต้นแบบขนาด12.5x25x10 ซม. ด้วยอัตราส่วนของ 1:5:0.02:0.3 (ซีเมนต์:ทราย:ผงสี:เยื่อกระดาษ)มาผลิตบล็อกประสานและทำการอัดด้วยเครื่องอัด (Cinva-Ram) ด้วยแรงอัดประมาณ 1.0 M n/m^2 จะได้สมบัติความหนาแน่นที่ 1482.20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, ค่าการดูดซึมน้ำ 17.52 % ,ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 1.0424 วัตต์ / เมตร องศาเคลวิน และมีค่าการรับแรงอัด 68.60 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 58-2530 บล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนัก (Non load bearing concrete Unit) เมื่อเปรียบเทียบสมบัติบล็อกประสานเดิมจากดินลูกรังผสมซีเมนต์ พบว่าบล็อกประสานจากวัสดุใหม่นี้มีความหนาแน่นลดลง 22.5% และมีค่าการนำความร้อนต่ำลง 34%

จากการศึกษาพัฒนาวัสดุก่อสร้างมวลเบาจากส่วนผสมของเยื่อกระดาษเหลือทิ้งจากโรงงานกระดาษได้พบถึงศักยภาพต่างๆมากมายและเป็นที่น่าสนใจในการนำมาพัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้างวัสดุตกแต่ง และเพิ่มสีสัน ของการพัฒนานี้สามารถนำไปใช้เชิงพาณิชย์ได้เป็นอย่างดี ที่จะช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและยังช่วยอนุรักษ์พลังงาน

คำสำคัญ : วัสดุทางเลือก, ฉนวนกันความร้อน, การรีไซเคิลของเสีย, บล็อกก่อสร้างฉนวน

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงขนาดเส้นใยของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ	9
2.2 แสดส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยวัตถุดิบต่างๆที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทย	9
2.3 การจัดการกากของเสียประเภทต่างๆ	13
2.4 ข้อเปรียบเทียบระหว่างการกำจัดมูลฝอยด้วยระบบต่างๆ	16
4.1 แสดงสมบัติทางเคมีของดินลูกรัง (Lateritic soil)	30
4.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง (Lateritic soil)	30
4.3 แสดงอัตราส่วนผสม	31
5.1 แสดงผลการทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ	44
5.2 แสดงสมบัติของวัสดุก่อสร้างต้นแบบและวัสดุก่อสร้างในท้องตลาด	52
ก.1 แสดงปริมาณส่วนผสมในการทดสอบ	ก.1
ก.2 แสดงข้อมูลผลการทดสอบสมบัติความหนาแน่นของวัสดุ	ก.2
ก.3 แสดงข้อมูลผลการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ	ก.3
ก.4 แสดงข้อมูลผลการทดสอบสมบัติการรับแรงอัดของชิ้นทดสอบ	ก.4
ก.5 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกต้นแบบ SP2	ก.5
ก.6 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกต้นแบบ SP6	ก.5
ก.7 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกประสานต้นแบบ SP2	ก.6
ก.8 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกประสานต้นแบบ SP6	ก.6
ก.9 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังอิฐมอญ	ก.7
ก.10 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกคอนกรีตกลวง	ก.7
ก.11 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกคอนกรีตอบไอน้ำมวลเบา	ก.8
ก.12 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกประสานจากดินผสมซีเมนต์	ก.8
ค.1 การดูดกลืนน้ำ	ค.2
ค.2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมิติ	ค.5
ค.3 ความบิดเบี้ยว	ค.6
ค.4 ความเบี่ยงเบนจากความได้ฉาก	ค.6
ค.5 ความต้านแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ	ค.7
ค.6 รอยกะเทาะ	ค.7

รายการภาพประกอบ

ภาพ		หน้า
2.1	แสดงสัดส่วนของวัตถุดิบต่างๆที่ใช้สำหรับการผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทย	8
2.2	แสดงกระบวนการผลิตเยื่อฟอกขาวโดยกระบวนการซัลเฟต (คราฟท์)	10
2.3	แสดง Process flow diagram indicating waste stream in pulps production	11
2.4	ขั้นตอนทั่วไปในการกำจัดโดยการเผา	15
3.1	แสดงลักษณะอิฐ	17
3.2	แสดงขนาดมาตรฐานทั่วไปของอิฐ บางบัวทองและอิฐบางปะกง	18
3.3	ลักษณะของอิฐประดับ	18
3.4	แสดงลักษณะของอิฐบล็อกกลวงรับน้ำหนัก	19
3.5	ลักษณะและขนาดของอิฐบล็อกหรือคอนกรีตบล็อก	19
3.6	แสดงอิฐมวลเบา	20
3.7	แสดงลักษณะของบล็อกประสาน	20
3.8	แสดงขนาดของบล็อกประสาน	21
3.9	แสดงขนาดของบล็อกประสานแบบโค้ง	21
3.10	แสดงเครื่องอัดบล็อกประสาน	21
3.11	แสดงอัตราส่วนดินต่อปูน 1 ส่วนที่มีผลต่อกำลังอัด	22
3.12	แสดงการนำบล็อกประสานก่อสร้างเป็นบ้านพักอาศัย	23
3.13	แสดงการนำบล็อกประสานมาประดับตกแต่ง	23
3.14	แสดงลักษณะของหินเทียน Craft Stone รุ่น Vintage Ledgestone	25
3.15	แสดงลักษณะของหินเทียน Craft Stone รุ่น Country Ledgestone	25
3.16	แสดงลักษณะของหินเทียน Quarry Stone Collection	25
3.17	แสดงลักษณะของหินเทียน Craft Stone รุ่น River Rock	26
3.18	แสดงลักษณะของหินเทียน Sand Stone Collection	26
3.19	แสดงลักษณะหินประดับแบบต่างๆ	26
3.20	แสดงลักษณะผิวพ่นเคลือบ	27

3.21 แสดงลักษณะผิวพ่นเคลือบประติมากรรม 27
4.1 แสดงวัตถุดิบใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตชิ้นทดสอบ 29
4.2 แสดงลักษณะตะกอนเยื่อกระดาษถูกคัดแยกออกจากกระบวนการผลิตกระดาษ 30
4.3 แสดงการตากกากตะกอนเยื่อกระดาษ 31
4.4 ตำแหน่งที่วัดความกว้างความยาว และความหนาของแผ่นซีเมนต์เยื่อกระดาษ 33
4.5 แสดงการวัดขนาดชิ้นทดสอบ 33
4.6 การชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบ 34
4.7 แสดงเครื่องทดสอบกำลังอัด 35
4.8 แสดงอุปกรณ์และเครื่องทดสอบการดูดซึมน้ำ 36
4.9 เครื่องทดสอบค่าการนำความร้อน (Quick Thermal Conductivity Meter) 37
4.10 แสดงเครื่องมือผสม (ใบมีดและสว่านไฟฟ้า) 39
4.11 แสดงแบบแม่พิมพ์ชิ้นทดสอบต้นแบบบล็อกมาตรฐาน 39
4.12 แสดงแบบแม่พิมพ์ต้นแบบบล็อกประสาน 40
5.1 แสดงลักษณะของเนื้อสีดินแดง และดินทรายที่เป็นวัตถุดิบ 41
5.2 แสดงลักษณะของเนื้อสีดินแดง และดินทราย เมื่อผสมกับส่วนผสมแล้ว 42
5.3 แสดงลักษณะฟองอากาศ/ รูพรุนที่เกิดบนพื้นผิววัสดุทดสอบ 43
5.4 แสดงการส่องกล้องขยายดูโครงสร้างภายใน 45
5.5 แสดงความหนาแน่นกับปริมาณเยื่อกระดาษ 46
5.6 แสดงค่าการรับแรงอัดกับปริมาณเยื่อกระดาษ 47
5.7 แสดงค่าความหนาแน่นและความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ 47
5.8 แสดงลักษณะการแตกร้าวเมื่อรับแรงอัด 48
5.9 แสดงค่าการดูดซึมน้ำกับปริมาณเยื่อกระดาษ 49
5.10 แสดงค่าการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ 50
5.11 แสดงค่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และปริมาณเยื่อกระดาษ 51
5.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และและความหนาแน่น 51
5.13 แสดงลักษณะของบล็อกต้นแบบ SP2 จากส่วนผสมของดินลูกรังผสมเยื่อกระดาษ 53
5.14 ลักษณะของบล็อกต้นแบบ SP6 ที่มีส่วนผสมของดินทรายและผงสีผสมเยื่อกระดาษ 54
5.15 บล็อกประสานต้นแบบ SP2 ที่มีส่วนผสมของดินลูกรังสีผสมเยื่อกระดาษ 55
5.16 บล็อกประสานต้นแบบ SP6 ที่มีส่วนผสมของดินทรายและผงสีผสมเยื่อกระดาษ 55
5.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าการต้านทานความร้อนรวมของผนังก่อ 56
5.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังก่อ 57

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เยื่อการะดาษเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตกระดาษ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการใช้กระดาษเฉลี่ยในประเทศที่ 65 กก./คน/ปี และมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นมากในแต่ละปี ซึ่งทำให้มีโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษเป็นจำนวนมาก ในการผลิตกระดาษจะมีเยื่อกระดาษที่เป็นกากตะกอนเสียเกิดขึ้นจำนวนมากหลายตันต่อวันต่อโรงงาน ซึ่งกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนต่างๆ จะถูกนำมารวมกันเพื่อปรับสภาพ เช่น การรีน้ำออกเพื่อลดปริมาณของน้ำในกากตะกอน, การลดกลิ่น ก่อนจำไปกำจัดหรือนำไปใช้ประโยชน์ และการกำจัด เช่น การเผา, การฝังกลบ เป็นต้น

ลักษณะของกากตะกอนของเยื่อกระดาษส่วนใหญ่จะประกอบด้วยอินทรีย์สารที่เป็นเส้นใย ได้แก่ เซลลูโลส, ลิกนิน, เส้นใยจากเยื่อไม้ หรือเศษเยื่อกระดาษที่ปนออกมา อินทรีย์สารเหล่านี้ย่อยสลายได้ยาก หากทำการกำจัดกากตะกอนเหล่านี้โดยไม่ถูกวิธี ก็จะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม, คุณภาพอากาศ, คุณภาพน้ำและผิวดิน ดังนั้นจึงเกิดความคิดในการนำกากตะกอนที่เป็นของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุผสมในการผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างมวลเบาที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ ทนแทนวัสดุก่อสร้างผนังประเภท อิฐมอญ และคอนกรีตบล็อก ซึ่งวัสดุก่อสร้างเดิมทั้งสองมีค่าการนำความร้อนที่สูง และมีน้ำหนักมากเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์วัสดุสมัยใหม่ที่ใส่ใจด้านการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม และการใช้กากตะกอนเยื่อกระดาษนี้ยังเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการบริหารจัดการของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษที่ใส่ใจด้านสิ่งแวดล้อม

ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาพัฒนาวัสดุก่อผนังมวลเบาที่มีค่าการนำความร้อนต่ำจากเยื่อกระดาษที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตกระดาษ โดยทำการศึกษาอิทธิพลของกากตะกอนเยื่อกระดาษ ต่อสมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางความร้อน และค้นหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากเยื่อกระดาษที่เป็นของเสียจากโรงงานผลกระดาษในการผลิตเป็นวัสดุก่อสร้าง
2. พัฒนาและทดสอบสมบัติของวัสดุผสมด้วยเยื่อกระดาษในการค้นหาอัตราผสมที่เหมาะสมในการนำมาผลิตบล็อกก่อสร้างมวลเบาที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ
3. เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตและการหาแนวทางจากใช้ประโยชน์จากบล็อกก่อสร้างจากวัสดุผสมด้วยเยื่อกระดาษ
4. เพื่อศึกษาสมบัติของบล็อกก่อสร้างนี้เปรียบเทียบกับวัสดุก่อสร้างผนังทั่วไป

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นค้นหาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากเยื่อกระดาษที่เป็นของเสียจากโรงงานผลิตกระดาษเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างมวลเบาที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ โดยทำการศึกษาสมบัติของวัสดุและการทดสอบดังนี้

1. ศึกษาและทดสอบสมบัติทางกายภาพของเยื่อกระดาษที่เป็นของเสียจากโรงงานกระดาษ
2. ศึกษาและทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสม ในด้านขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM C 134-88 และการทดสอบดูดซึมน้ำ
3. ศึกษาและทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุผสม คือในการรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C 109-95.
4. ศึกษาและทดสอบสมบัติทางด้านการนำความร้อนของวัสดุผสมตามมาตรฐาน JIS 2618
5. การศึกษาเปรียบเทียบวัสดุก่อสร้างประเภทก่อในการรับแรงอัดตามมาตรฐานอิฐมอญก่อสามัญ มอก.77-2545 และคอนกรีตบล็อกไม่รับแรง มอก.58-2530

1.4 สมมุติฐาน

เยื่อกระดาษที่เป็นเส้นใยสั้นจากของเหลือใช้จากโรงงานผลิตกระดาษ ซึ่งเป็นวัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบา การเรียงตัวและการเกาะกันของเส้นใยกับปูนซีเมนต์และทรายจะทำให้เกิดช่องว่างขนาดเล็กจำนวนมากและสามารถจะนำมาใช้ในการผลิตวัสดุก่อสร้างที่มีน้ำหนักเบาและมีค่าการนำความร้อนต่ำได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตบล็อกก่อสร้างจากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ
2. ได้ทราบสมบัติเด่นและข้อจำกัดของวัสดุผสมในการผลิตบล็อกมวลเบาจากเยื่อกระดาษของเสียจากโรงงานผลิตกระดาษ
3. เพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง รวมทั้งลดภาระในการกำจัดและลดภาระการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมบูรณ์ และคณะ[1], ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนดินจากน้ำประปามาเป็นวัสดุผสมในการทำบล็อกประสาน โดยทดสอบสมบัติด้านการรับกำลังอัด และร้อยละการดูดซึมน้ำตาม มอก.57-2530 ซึ่งใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์:ทราย (1:3) โดยใช้ตะกอนประปาแทนที่ทรายตั้งแต่ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6, 0.8 และ 1.0 ตัวอย่างทดสอบขนาด 5x5x5 ซม. บ่มตัวอย่างที่ 3, 7, 14 และ 28 วัน จากผลการทดสอบเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมไปหล่อเป็นบล็อกประสานผสมตะกอนดินขนาด 12.5x25x9 ซม. ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณตะกอนดินที่ ร้อยละ 40, 50 และ 60 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.6 ที่อายุ 28 วัน เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปหล่อเป็นบล็อกประสาน โดยตัวอย่างทดสอบให้กำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 160, 136 และ 90 กก./ซม.^{2} ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ ร้อยละ 14, 15 และ 17 ตามลำดับ เมื่อนำไปหล่อเป็นบล็อกประสานให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 163, 142 และ 96 กก./ซม.^{2} ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ ร้อยละ 13,14 และ 15 ตามลำดับ จากผลสามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนที่มีตะกอนดินผสมอยู่ร้อยละ 60 เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปผลิตบล็อกประสาน ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก และเป็นอัตราส่วนที่มีตะกอนดินผสมอยู่มากที่สุด แสดงให้เห็นว่าตะกอนดินสามารถนำมาเป็นวัสดุผสมในการทำบล็อกประสานได้ดี

พฤกษ์ ตัญตรัยรัตน์[2], ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากของเสียคือ กากปูนขาว ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ มาใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี กากปูนขาวมีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งสามารถใช้ตกตะกอนโลหะหนักได้ ในการทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนัก 4 ชนิดของแต่ละตัวอย่างน้ำเสีย คือตะกั่ว ไทรวาเลนต์โครเมียม แคดเมียม และปรอท ที่มีความเข้มข้น 1,433.7, 506.7, 1,095 และ 9.37 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำเสียจริง 2 ชนิดคือ น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังซึ่งมีไทรวาเลนต์โครเมียม 74.49 มก./ล. และน้ำเสียจากการทดลองซีโอดีซึ่งมีปรอท 683 มก./ล. การวิเคราะห์ผลสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ได้ประเมินหาปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสมในแต่ละค่าพีเอชในช่วงที่เป็นกรด 4 ค่า โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดเป็นหลัก ส่วนน้ำเสียจริงได้ทดลองหาประสิทธิภาพการตกตะกอนสูงสุด โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบน้ำเสียสังเคราะห์ ผลการทดลองพบว่า

กากปูนขาวสามารถใช้ตกตะกอนโลหะหนักในน้ำเสียได้ โดยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีตะกั่วเมื่อปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 4-7 พบว่า ปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสมมีค่าใกล้เคียงกัน และให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนสูงที่สุดคือร้อยละ 93-96 ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมียม เมื่อปรับพีเอชในช่วง 2-5 พบว่ามีปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสม อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันในแต่ละพีเอช โดยประสิทธิภาพสูงสุดคือประมาณร้อยละ 99 ในทุกค่าพีเอชน้ำเสียสังเคราะห์ปรอทไม่ได้ทำการปรับค่าพีเอชและพบว่าประสิทธิภาพกำจัดสูงสุดคือประมาณร้อยละ 96-97 ส่วนในการศึกษาน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมสูงสุดคือร้อยละ 100 ในขณะที่น้ำเสียที่มีปรอทจากการทดลองซีโอดีเมื่อทำการเจือจาง 100 เท่าก่อนการตกตะกอน พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดประมาณร้อยละ 65-68.

สมิตรและคณะ[3],ได้ศึกษาการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม 3 ประเภท ได้แก่ เถ้าลอย กากแคลเวียมคาร์ไบด์ และตะกันเหล็ก โดยมีการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่น้อย เถ้าลอย กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และปูนซีเมนต์จะถูกผสม และใช้เป็นวัสดุประสานในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 50, 70 และ 100 ของปริมาตรช่องว่างของมวลรวมโดยมีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ ต่อเถ้าลอย ต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ 2 อัตราส่วนคือ 10-70-20 และ 5-60-35 จากนั้นนำมาทดสอบหาความหนาแน่น กำลังอัด การดูดกลืนน้ำ การนำความร้อน และการชะละลายของสารโลหะหนัก การทดสอบพบว่าความหนาแน่นของวัสดุเอมีอายุ 28 วันจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1192.52 ถึง 1757.70 กก./ม^3 หรือน้ำหนักต่อการก่อกำแพง 1 ตารางเมตรเท่ากับ 50.37 ถึง 74.25 กก. ส่วนกำลังอัดของบล็อกจะมีค่ามากกว่า 25 กก./ซม^2 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ของ มอก. 58-2530 ในทุกอัตราส่วนผสมเมื่อตังอย่างมีอายุมากกว่า 28 วัน การดูดกลืนน้ำของบล็อกมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 13.86 ถึง 20.62 ในทุกอัตราส่วนผสมนอกจากนี้ตัวอย่างบล็อกคอนกรีตที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำมาก คือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.133 ถึง 0.190 วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเซลเซียส และยังไม่พบสารชะละลายที่มากไปกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6-2540 อีกด้วย

วุฒินัย และวิทยา[4] ได้ศึกษาการใช้ยิปซั่มสังเคราะห์เป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซล มีลักษณะเป็นผงมีความละเอียดสูง สีเทาขาว บล็อกประสานเป็นวัสดุหนึ่งในงานก่อสร้างที่ผลิตจากการนำดินลูกรัง ผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำ นำมาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแก้ง(Cinva Ram) การรับกำลังอัดของบล็อกประสานจะขึ้นอยู่กับคุณภาพมวลรวม และปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นหลัก โดยมวลรวมที่มีขนาดคละกันดีทำให้ความหนาแน่นต่อก้อนสูงส่งผลให้การรับกำลังอัดสูงตามไปด้วย การผสมยิบซั่มลงในมวลรวมเป็นการเพิ่มมวลรวมละเอียดให้มากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นต่อก้อนเพิ่มมากขึ้นการรับกำลังจึงสูงขึ้น ที่กำลังอัดเท่ากันการผสมยิบซั่มจะทำให้ลดการใช้ปูนซีเมนต์ลงได้ ผลการการศึกษาพบว่าการผสมยิบซั่มลงในมวล

รวม 5% สามารถเพิ่มค่าการรับกำลังอัดของบล็อกประสานได้ดีที่สุดโดยเมื่อเทียบกับที่กำลังอัดเดียวกันการผสมยิบซั่ม 5% จะสามารถประหยัดปูนซีเมนต์ลงได้ประมาณ 10% คิดเป็นมูลค่าต่อก้อนประมาณ 0.20 บาท หรือประมาณร้อยละ 5 ของราคารวม

วุฒินัย และนรา[5] ได้ศึกษาความสามารถในการรับกำลังอัดของบล็อกประสานที่ผลิตจากหน้าดินจากเหมือนดินขาวหน้าดินขาวเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตดินขาวเพื่ออุตสาหกรรม ซึ่งมีจำนวนมากและเป็นปัญหาในการกำจัดของเหมือนแร่ขอบเขตของงานวิจัย ใช้หน้าดินขาวจากเหมือนแร่ (Mineral Resources Development) จังหวัดระนอง เป็นวัตถุดิบในการผลิตบล็อกประสานผสมวัตถุดิบที่อัตราส่วนหน้าดินต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1:5, 1:7 และ 1:9 โดยน้ำหนัก ทดสอบหลังการอัดที่ระยะเวลา 3,7,14 และ 28 วัน เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับกำลังอัดที่ระยะเวลาต่างๆ ผลการศึกษาพบว่าบล็อกประสานที่ผลิตได้จากหน้าดินขาวมีค่าความสามารถในการรับกำลังอัดสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับบล็อกประสาน(มาตรฐานในการรับกำลังอัดของบล็อกประสานต้องไม่ต่ำหว่า 70 กก./ตร.ซม.) จากการศึกษาสรุปได้ว่าหน้าดินขาวสามารถนำมาใช้ผลิตบล็อกประสานได้เป็นอย่างดี

Khedari และคณะ [6] ได้ศึกษาการนำความร้อน ค่าการรับแรงอัด และความหนาแน่นของอิฐมวลเบาที่ทำจากเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยทุเรียนผสมกับทรายและซีเมนต์ ผสมกันผลิตเป็นวัสดุก่อสร้าง ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยทุเรียนเข้าในส่วนจะช่วยลดค่ากานนำความร้อนลง โดยความยาวที่เหมาะสมของเส้นใยคือ 2 มิลลิเมตรและมีอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ ปริมาณเส้นใยมะพร้าวเป็นร้อยละ 20 ของปริมาณซีเมนต์(โดยน้ำหนัก) ซึ่งจะได้ค่าการนำความร้อน 0.2543 W/m.K. ค่าการรับแรงอัด 24.52 kg/cm^2 (บ่มน้ำที่ 9 วัน) และมีค่าความหนาแน่นที่ 958.8 kg/m^3 และสำหรับอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับเส้นใยทุเรียน คือปริมาณเส้นใยทุเรียนเป็นร้อยละ 10 ของปริมาณซีเมนต์(โดยน้ำหนัก) ซึ่งจะได้ค่าการนำความร้อน 0.3506 W/m.K. ค่าการรับแรงอัด 33.6 kg/cm^2 (ระยะเวลาบ่มน้ำ 9 วันบ่มอากาศอีก 12 วัน) และค่าความหนาแน่น 1456 kg/m^3

Pranee และคณะ [7] ได้ผลิตแผ่นบอร์ดชนิดใหม่ที่มีค่าการนำความร้อนต่ำจากส่วนผสมของเยื่อกระดาษที่เป็นของเสียจากโรงานผลิตกระดาษทิชชูและเปลือกข้าวโพด โดยใช้โฟม Polystyrene ประกอบเป็นชั้นๆ ผลการทดลองพบว่าแผ่นบอร์ดนี้มีค่าความหนาแน่นที่ต่ำและมีค่าการนำความร้อนต่ำลงเมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อกระดาษและเปลือกข้าวโพดเพิ่มขึ้น การปรับปรุงการรับแรงทางกลและการต้านทานต่อขยายตัว สามารถทำได้โดยการเคลือบพื้นผิวที่แผ่นและมีค่าของ Polystyrene 15% (w/v)

Soroushian and คณะ[8] ได้ทดลองหาปัจจัยที่เหมาะสมในการทำวัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใย Wastepaper พบว่าปัจจัยที่มีผลสำคัญต่อค่ากำลังรับแรงดัดได้แก่ ปริมาณเส้นใย, อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใย

บริสุทธิ์กับเส้นใย Wastepaper และค่าความละเอียดของเส้นใย จากการทดลองจะได้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดเท่ากับ 13.2 MPa ที่ปริมาณเส้นใย 8% อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยบริสุทธิ์กับเส้นใย Wastepaper เท่ากับ 1:1 และค่าความละเอียดเท่ากับ 540 ตามมาตรฐานแคนาดา มีการเปรียบเทียบก้อนตัวอย่างที่ใช้เยื่อบริสุทธิ์ทั้งหมด กับตัวอย่างที่ใช้เยื่อ Wastepaper ทั้งหมด พบว่าตัวอย่างที่ใช้เยื่อ Wastepaper ทั้งหมด พบว่า ตัวอย่างที่ใช้เยื่อ Wastepaper ทั้งหมดจะให้ค่ากำลังรับแรงดัด และความเหนียวที่ต่ำหว่า, การดูดซับน้ำ และปริมาณความชื้นน้อยกว่า แต่มีความหนาแน่นมากกว่า

Soroushian และ คณะ[9] ได้ศึกษาสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุซีเมนต์เสริมเส้นใยเซลลูโลส โดยตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ชนิดเส้นใย, ปริมาณเส้นใย, การใช้วัสดุปอโซลานแทนซีเมนต์บางส่วน, สภาพความชื้นและอัตราส่วนทรายซิลิกาต่อซีเมนต์ พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มจาก 4% เป็น 8% ค่ากำลังรับแรงดัดและความเหนียวของวัสดุผสมเพิ่มขึ้น ความถ่วงจำเพาะลดลง, ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น วัสดุผสมมีความไวต่อผลของความชื้น เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงดัดจะลดลง, ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น วัสดุผสมมีความไวต่อผลของความชื้น เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงดัดจะลดลง แต่ความเหนียวจะเพิ่มขึ้น การซิลิกาฟูม จะเพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะ และลดการดูดซึมน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ขี้เถ้าลอย ชนิดเส้นใยและปริมาณทรายที่ใช้ไม่มีผลกระทบสำคัญต่อความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ การศึกษาทาง Microstructure พบว่าลักษณะที่ชื้นมากนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของสภาพที่เส้นใยหลุดออกจากโครงสร้างมากกว่าการฉีกขาดของเส้นใย

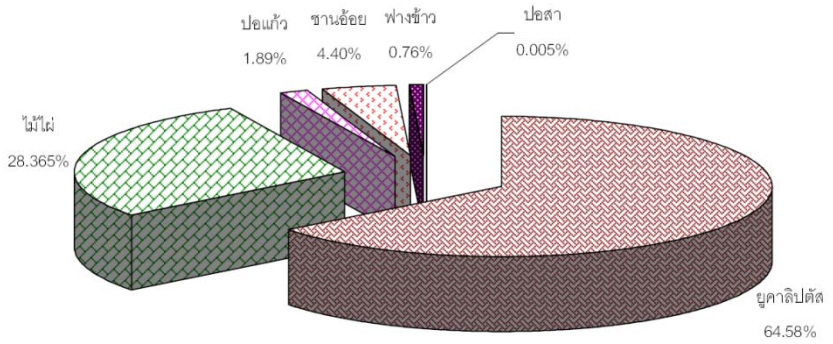
และต่อมา Soronshian และคณะ[10] ศึกษาผลจากสภาพแวดล้อมต่อคุณสมบัติของวัสดุซีเมนต์เสริมเส้นใย Recycled Wastepaper การทดลองใช้แผ่นวัสดุผสมที่มีปริมาณเส้นใย 8% การเตรียมสภาพแวดล้อมโดยจัดสภาวะเปียก, สภาวะแก้ง และสภาวะคาร์บอร์เนชั่น ตามลำดับ โดย 1 รอบการทดลองประกอบด้วย แช่แผ่นให้อิ่มตัวในน้ำ 8 ช.ม. เข้าเตาอบ 1 ชม. เก็บในสภาพคาร์บอนไดออกไซด์สูง เวลา 5 ชม. อบแห้งในเตา 9ชม. และ ตั้งให้เย็นในอุณหภูมิห้อง 1 ชม. ทำการทดลอง 25 รอบ นำไปทดสอบค่ากำลังรับแรงดัด, ความเหนียว, ความแข็ง แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแผ่นที่ผ่านการกระทำกับแผ่นปกติ พบว่าการทำสภาพแวดล้อม ทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นแต่ความเหนียวลดลง แต่ไม่มีผลต่อกำลังรับแรงดัด เมื่อพิจารณาจุดที่เกิดจากแตกหักหลังจากการทดสอบกำลังรับแรงอัด จะเห็นว่าแผ่นที่ผ่านสภาพแวดล้อมเส้นใยจะฉีกขาด แต่แผ่นปกติเส้นใยจะหลุดออกมา

Lin และคณะ [11]ได้ศึกษาแนวทางการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุซีเมนต์เสริมเส้นใยไม้ ในด้านความคงตัว, คุณสมบัติทางกล, คุณสมบัติทางกายภาพ การทดลองใช้เส้นใย 3 ชนิด คือ Bleached hardwood pulp, Unbleached recycled kraft paper และ Recycled newspaper, ปูนซีเมนต์ 3 ชนิดคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดสาม, Commercial Alkali Activated Cement และ Laboratory Alkali Activated Cement ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.40 และปริมาณเส้นใย 6.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักซีเมนต์ ผลการทดลองจะได้ว่า กำลังการรับแรงขึ้นอยู่กับ ชนิดเส้นใย, ชนิดซีเมนต์, ระยะเวลาการบ่มและอุณหภูมิการบ่ม การผสมด้วยแรงเฉือนสูง, การใช้แรงกดมาก และการใช้ซิลิกาฟูมแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ช่วยเพิ่มค่ากำลังรับแรงดัดของวัสดุผสมได้ การศึกษาโครงสร้างภายในโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope พบว่าแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดบนผิวระหว่างเส้นใยไม้กับซีเมนต์เพลส์ที่แข็งตัว มีความสำคัญ ถ้าแรงยึดเหนียวมาก เส้นใยจะขาดออกจากันเมื่อวัสดุผสมแตกหัก แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวน้อย เส้นใยจะหลุดออกจากซีเมนต์เพลสต์ที่แข็งตัว เมื่อวัสดุผสมได้รับแรงกระทำ

2.2 การผลิตกระดาษและของเสียจากโรงงานผลิตกระดาษ

2.2.1 กระบวนการผลิตกระดาษ

กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ มีการใช้วัตถุดิบหลายชนิด ซึ่งแบ่งเป็นประเภทหลัก ๆ คือ วัตถุดิบประเภทไม้ (wood) และวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้ (Non-Wood) สำ หรับวัตถุดิบที่นิยมใช้ผลิตเยื่อ กระดาษในประเทศไทยที่เป็นไม้ คอื ยคู าลปิ ตสั ส่วนวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้คอื ชานออ้ย ปอแกว้ ฟางข้าวไม้ไผ่ เยื่อกระดาษที่ผลิตได้ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยสั้นถึงเยื่อใยปานกลาง ยกเว้นเฉพาะเยื่อกระดาษสาที่ผลิตจากต้นปอสาเท่านั้นที่จัดเป็นเยื่อใยยาว ในด้านปริมาณการใช้วัตถุดิบแต่ละชนิด พบว่า มีการใช้ยูคาลิปตัสมากที่สุด คือประมาณ 64.58% ของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมด รองลงมาได้แก่ ไม้ไผ่ 28.365% ชานอ้อย 4.40% ฟางข้าว 0.76% และปอสา 0.005% (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 แสดงสัดส่วนของวัตถุดิบต่างๆที่ใช้สำหรับการผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทย

ที่มา: Department of Industrial Work and Questionnaire

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดเส้นใยของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ

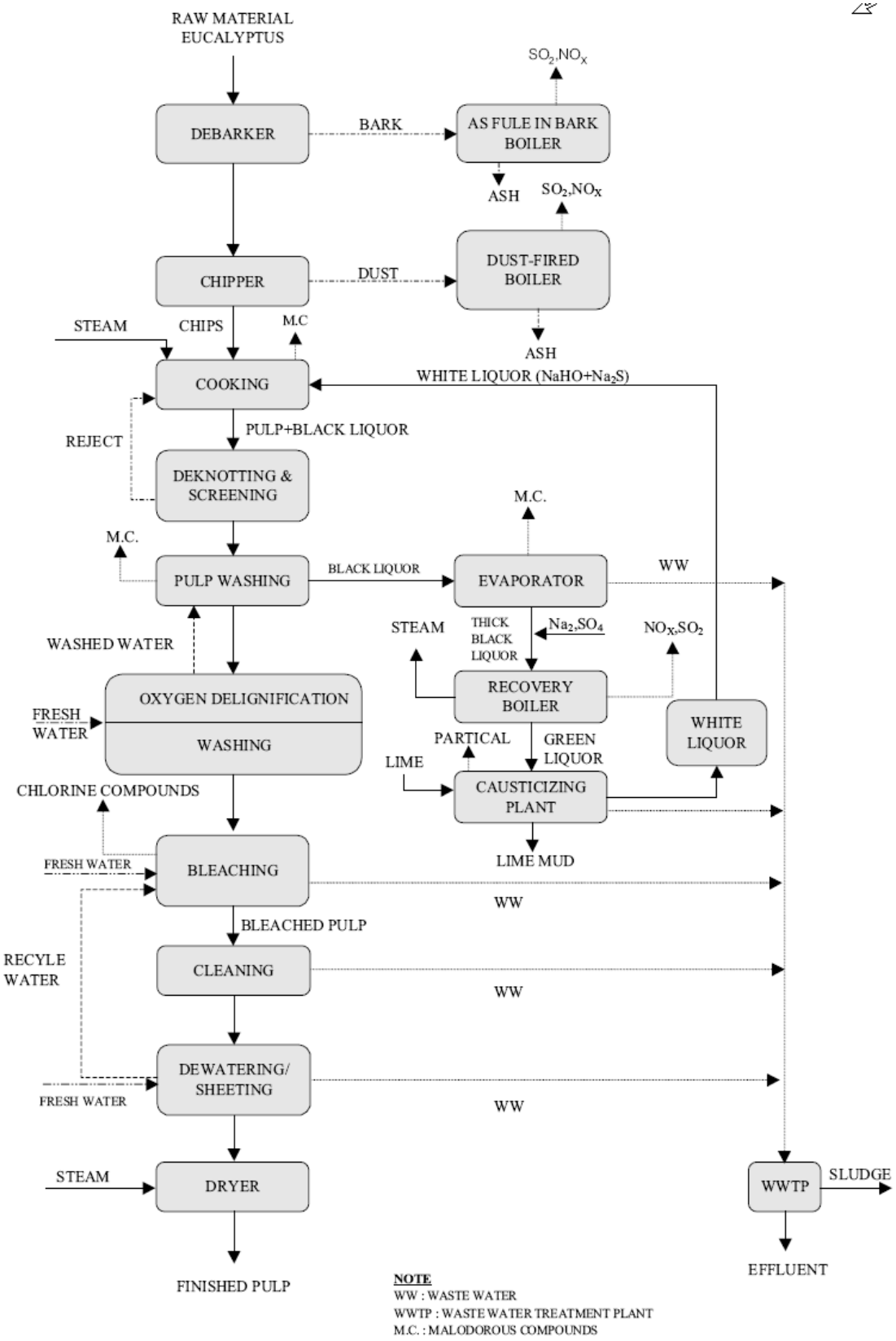
ชนิดของวัตถุดิบ	ความยาว, มม.		เส้นผ่านศูนย์กลาง, ไมโครเมตร	
	ต่ำ - สูง	เฉลี่ย	ต่ำ - สูง	เฉลี่ย
ฟางข้าว	0.7 - 3.5	1.5	5 – 15	9
ปอแก้ว	0.6 - 6.0	1.5	14 – 40	25
ชานอ้อย	0.8 – 2.8	1.6	10 – 34	20
ไม้ไผ่	1.5 – 4.4	2.3	7 – 27	18
ยูคาลิปตัส	0.6 – 1.4	1.0	14 – 20	18

ที่มา : Environmental Management in the Pulp and Paper Industry, UNEP IE/PAC Mannual 1, Moscow 1981.

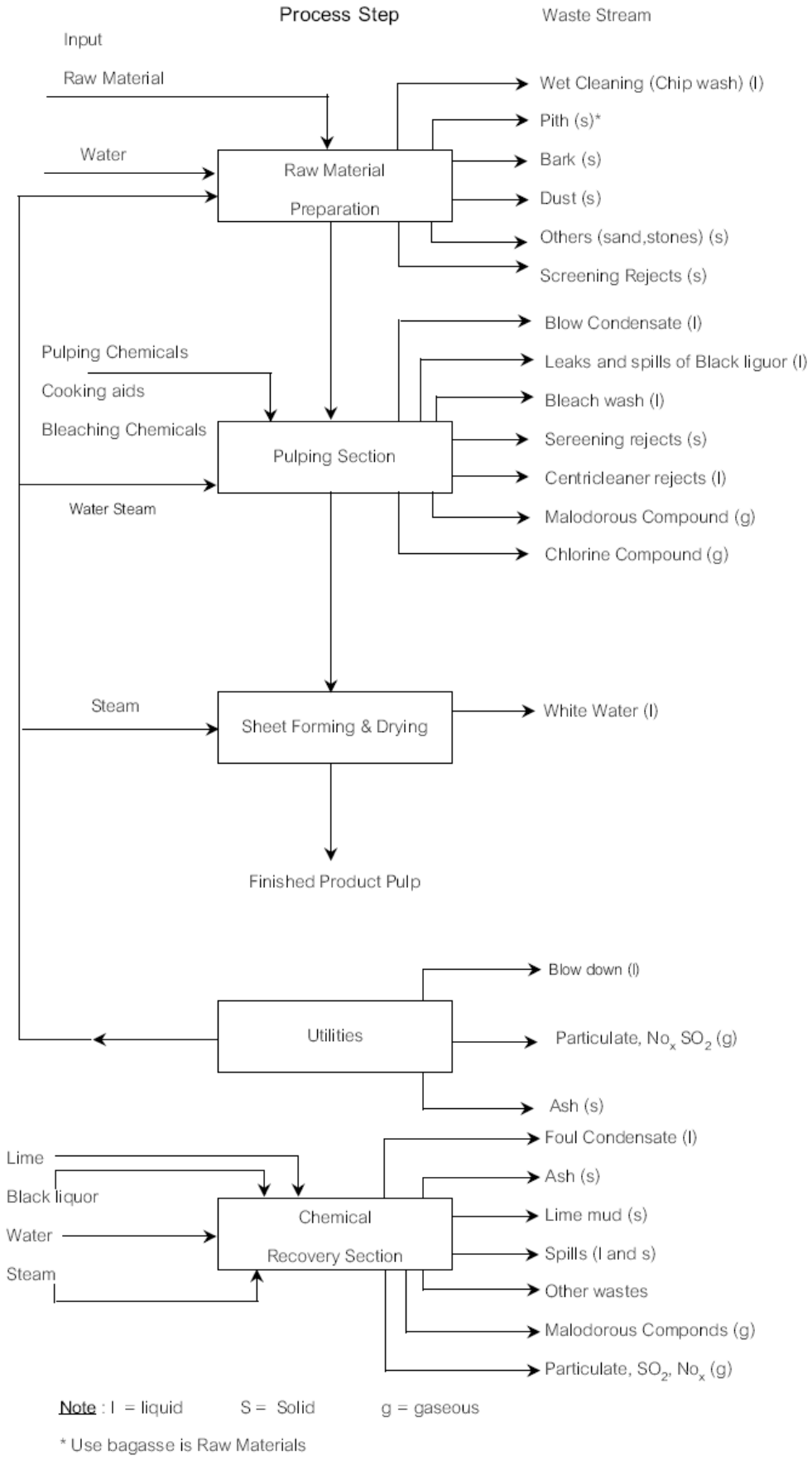
ตารางที่ 2.2 แสดส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยวัตถุดิบต่างๆที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทย

ชนิดของวัตถุดิบ	เซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	Hot water Soluble (%)	Alcohol benzene soluble (%)	เถ้า (%)
ฟางข้าว	28 – 41	10 – 17	13 – 17	1 – 7	14 – 22
ปอแก้ว	64	11 – 21	1.1	1.2	0.5
ชานอ้อย	26 – 39	19 – 22	3 – 11	3 – 11	1 – 5
ไม้ไผ่	35 – 47	22 – 30	16 – 21	3 – 6	1 – 5
ยูคาลิปตัส	47	20	2.4	1.5	0.4

ที่มา : Environmental Management in the Pulp and Paper Industry, UNEP 1996



ภาพที่ 2.2 แสดงกระบวนการผลิตเยื่อฟอกขาวโดยกระบวนการซัลเฟต (คราฟท์)



ภาพที่ 2.3 แสดง Process flow diagram indicating waste stream in pulps production

ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือจากการผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาวโดยใช้กระบวนการซัลเฟต

มวลสารที่นำ เข้า

- ไม้ไผ่, ยูคาลิปตัส
- สารเคมีต่าง ๆ เช่น โซเดียมซัลเฟต,ปูนขาว (Lime), คลอรีนไดออกไซด์, ซัลเฟอร์, Caustic Soda, Oxygen และ Chlorine gas
- น้ำใช้ในกระบวนการผลิต

มวลสารที่เกิดขึ้น

-เยื่อกระดาษฟอกขาว
- น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต
- เศษเปลือกไม้
- เศษ Rejects (ตาไม้)
- Black Liquor
- เถ้าและตะกรันจากหม้อไอน้ำ
- Lime mud
- ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

2.2.2 การบำบัดของเสียจากโรงงานผลิตกระดาษ

ของเสียจากโรงงานกระดาษแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ น้ำเสีย (Wastewater) กากเสีย (Solid waste) และอากาศเสีย (Air Pollution)

2.2.2.1 การกำจัดกากเสีย

กากเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระดาษมีดังนี้

- เศษเหลือจากวัตถุดิบ(เปลือกไม้ เศษไม้ กรวดทราย และอื่นๆ)
- เศษเส้นใย(Fibers) และสิ่งคัดทิ้ง (Reject)จากกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ
- กากของเสียจากระบบ Recovery ของโรงงาน (กากปูนขาว กากตะกอน กรวดทราย)
- เถ้าและตะกรันจากหม้อไอน้ำ
- สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสีย(ทางชีววิทยาและทางเคมี)
- ของเสียจากอุตสาหกรรมทั่วไป(เศษโลหะ วัสดุจากการก่อสร้าง เศษวัสดุหีบห่อ)
- ของเสียอันตราย (Hazardous Waste)

การกำจัดกากเสียนั้นสามารถทำได้หลายวิธีการ อย่างไรก็ดีการนำเทคโนโลยีสะอาดมาใช้และการนำกลับมาใช้ใหม่(Recycle) จะช่วยลดปริมาณของเสียที่จะนำไปกำจัดได้ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายลดลงไปด้วย แนวทางการจัดการกากของเสียจากกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การจัดการกากของเสียประเภทต่างๆ

วัสดุกากของเสีย	การจัดการขั้นตอน	การจัดการขั้นที่สอง
1. เศษกระดาษ	นำกลับไปใช้ใหม่(Recycle)	เผาในเตาเผา
2. วัสดุ Rejects เส้นใยสลัดจ์	นำกลับไปใช้ใหม่หลังจากทำความสะอาด	เผาในเตาเผา
3. พลาสติก	นำกลับไปใช้ใหม่(Recycle)	เผาในเตาเผา
4. โลหะ	นำกลับไปใช้ใหม่(Recycle)	-
5. วัสดุอื่นที่นำกลับมาใช้ใหม่ไม่ได้	นำไปฝังกลบ (Landfill)	-
6. กากของเสียอันตราย	กำจัดอย่างปลอดภัยตามระเบียบข้อกำหนด	-

ของเสียอันตราย (Hazardous Waste) ต้องกำจัดอย่างปลอดภัยตามระเบียบข้อกำหนดสำหรับในประเทศไทยให้ดำเนินการตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6(พ.ศ.2540) ออกตามความในประราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ประกาศในราชกิจจานุเบกษาวันที่ 13 พฤศจิกายน 2540

นอกจากนี้ กากของเสียที่เข้าข่ายเป็นของเสียไม่เป็นอันตราย(Non Hazardous Waste) ให้ดำเนินการตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ประกาศในราชกิจจานุเบกษาวันที่ 5 มิถุนายน 2541

2.2.2.2 วิธีการกำจัดกากของเสีย

การกำจัดกากของเสียของโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายวิธีการขึ้นอยู่กับลักษณะของกากของเสียในการกำจัดกากของเสีย ซึ่งมีวิธีการ

1. ระบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)

การกำจัดกากของเสียหรือมูลฝอยโดยวิธีการฝังกลบนี้ เป็นการนำกากของเสียหรือมูลฝอยมาเทกองในพื้นที่ ซึ่งจัดเตรียมไว้ใช้เครื่องจักรกลเกลี่ยให้เป็นชั้นบางๆ และบดอัดมูลฝอยยุบตัวลงทำเป็นชั้นๆ เมื่อได้ความสูงตามที่กำหนดแล้วใช้ดินกลบทับและอัดให้แน่นอีกครั้ง หลังจาหนั้นนำกากของเสียหรือมูลฝอยอันใหม่มาเกลี่ยและบดอัดเป็นชั้นๆ สลับด้วยชั้นดิน เพื่อป้องกันปัญหาในด้านกลิ่นแมลง น้ำฝนชะล้างและเหตุรำคาญอื่นๆ อินทรีย์สารที่เป็นองค์ประกอบของกากของเสียหรือมูลฝอยจะถูกย่อยสลายตามธรรมชาติในกระบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติโดยจุลินทรีย์หรือมูลฝอยจะถูกย่อยสบายตามธรรมชาติในกระบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติโดยจุลินทรีย์ชนิดไร้อากาศ(Anearobic

Bacteria) และเกิดก๊าซมีเทน รวมทั้งน้ำเสียในชั้นของการฝังกลบ การดำเนินการฝังกลบจะต้องมีมาตรการระบายก๊าซออกจากพื้นที่ฝังกลบ และมีการป้องกันหรือบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้น เพื่อลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นและลดผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมด้านอื่นๆ

2. ระบบหมักทำปุ๋ย (Composting)

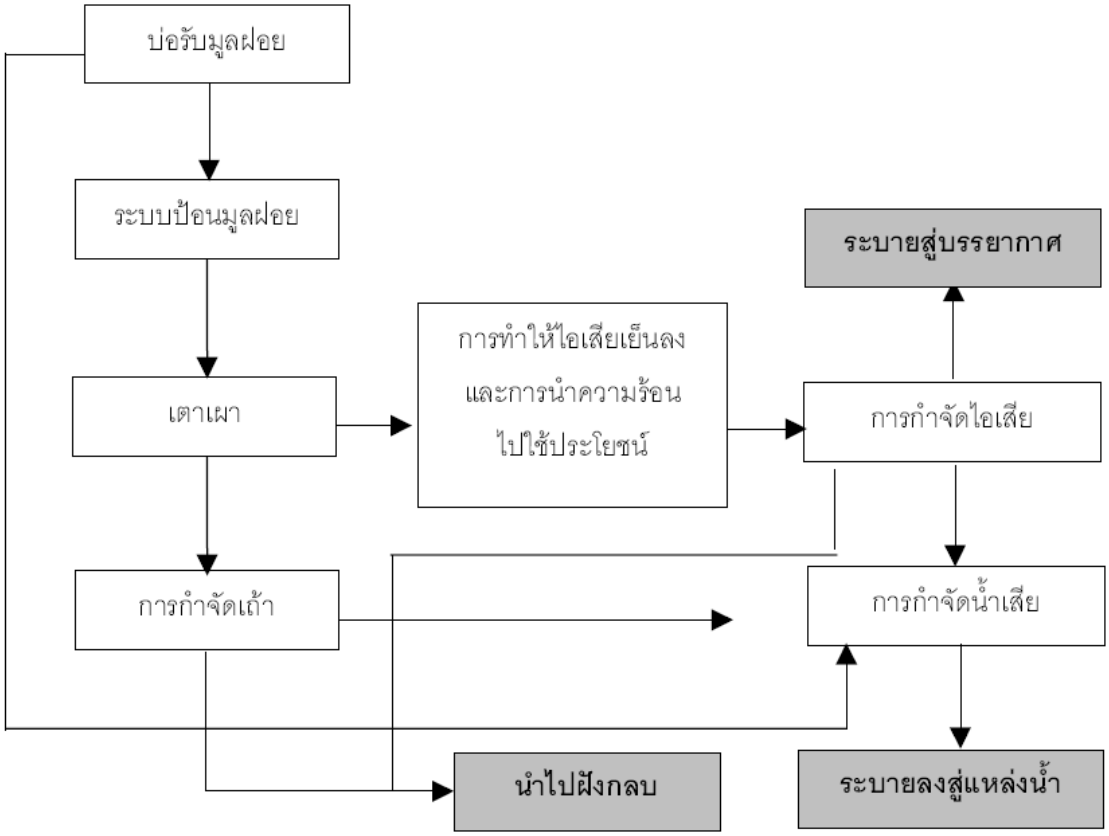
หลักการหมักทำปุ๋ย อาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในมูลฝอย โดยเฉพาะจุลินทรีย์พวกที่ต้องการออซิเจน (Aerobic Bacteria) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน ผลผลิตที่ได้เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้วเป็นผงหรือก้อนเล็กๆ สีน้ำตาลสามารถนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน(Soil Conditioner) ดังปฏิกิริยาเคมีย่อยสลายต่อไปนี้

$$\text{Complex organics} + O_2 \xrightarrow{\text{aerobic bacteria}} CO_2 + H_2O + NO_3 + SO_4^{-2} + \text{Less complex organics} + \text{heat}$$

ก๊าซที่มีกลิ่น เช่น ก๊าซไข่เน่า (H_2S), Methyl Mercaptan (CH_3SH) กำจัดได้โดยการรวบรวมก๊าซไปเผาให้สลายตัวเป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่น

3. ระบบเผาในเตาเผา(Incineration)

หลักการกำจัดโดยการใช้เตาเผาโดยทั่วไป เป็นวิธีการกำจัดมูลฝอยที่มีประสิทธิภาพดีมากวิธีหนึ่ง สามารถลดปริมาณมูลฝอยลงได้ประมาณร้อยละ 80-90 อาศัยลักษณะสมบัติของมูลฝอยซึ่งสามารถติดไฟได้ภายในเตาเผา โดยมีอากาศหรือเชื้อเพลิงเสริมภายใต้อุณหภูมิความดันที่เหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบและขนาดของเตาเผาแต่ละประเภท ผลที่ได้จากปฏิกิริยา เผาไหม้จะเกิดก๊าซชนิดต่างๆ ไอน้ำ ฝุ่นและขี้เถ้า อุณหภูมิเผาไหม้ครั้งสุดท้ายอยู่ระหว่าง 850-1200 องศาเซลเซียสในการกำจัดมูลฝอยโดยใช้เตาเผานี้มีขั้นตอนที่สำคัญต่างๆ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนทั่วไปในการกำจัดโดยการเผา

ปัจจุบันการใช้เตาเผาเป็นการจัดการกากของเสียที่มีประสิทธิภาพและได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากการกำจัดโดยการฝังกลบเริ่มมีราคาแพง และการหาสถานที่สำหรับฝังกลบ มีแนวโน้มจะยากขึ้นเรื่อยๆ

ในการกำจัดโดยวิธีที่กล่าวมาข้างต้น สามารถใช้ได้ดีกับของเสียประเภทของแข็ง (Solid Waste) ซึ่งแต่ละวิธีการมีความเหมาะสมกับประเภทของเสียที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาทั้งในแง่ของทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ สามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อเปรียบเทียบระหว่างการกำจัดมูลฝอยด้วยระบบต่างๆ

ข้อพิจารณา	วิธีการกำจัดมูลฝอย		
	การเผา	การหมักทำปุ๋ย	การฝังหลบ
1.ด้านเทคนิค			
1.1 ความยากง่ายในการดำเนินการและซ่อมบำรุง	-ใช้เทคโนโลยีค่อนข้างสูง การเดินเครื่องค่อนข้างยุ่งยาก -เจ้าหน้าที่คบคุมต้องมีความรู้ความชำนาญสูง	-ใช้เทคโนโลยีพอสมควร -เจ้าหน้าที่ควบคุมมีระดับความรู้พอควร	-ใช้เทคโนโลยีไม่สูงนัก -เจ้าหน้าที่ทั่วไปมีความรู้ความชำนาญน้อยกว่าการเผา หรือหมักปุ๋ย
1.1 ประสิทธิภาพในการกำจัด -ปริมาณมูลฝอยที่กำจัดได้	-ลดปริมาณของมูลฝอยได้ 80-90% ส่วนที่เหลือต้องนำไปกำจัดโดยการฝังกลบ	-ลดปริมาตรของมูลฝอยได้ 30-35% ส่วนที่เหลือต้องกำจัดต่อโดยการเผาฝังกลบ -กำจัดได้ 70%	- ฝังกลบได้ 100%
-ความสามารถในการฆ่าเชื้อโรค	-กำจัดได้ 100%		-กำจัดได้เพียงเล็กน้อย
1.3 ความยืดหยุ่นของระบบ	-ต่ำ	-ต่ำ	-ต่ำ
1.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม - น้ำผิวดิน -น้ำใต้ดิน -อากาศ -ปัญหากลิ่น แมลง	 -ไม่มี -ไม่มี -มี -ไม่มี	 -มีความเป็นไปได้ -มีความเป็นไปได้ -ไม่มี -อาจมีปัญหากลิ่นและแมลง	 -มีความเป็นไปได้สูง -มีความเป็นไปได้สูง -ไม่มี -มี
1.5 ลักษณะสมบัติของมูลฝอย	-เป็นสารที่เผาไหม้ได้มีค่าความร้อนไม่ต่ำหว่า 4,500 kJ/kg และความชื้นไม่มากกว่า 40%	-เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ มีความชื้น 50-60%	-รับมูลฝอยได้เกือบทุกประเภท (ยกเว้นมูลฝอยติดเชื้อหรือสารพิษ)
1.6 ขนาดที่ดิน	-ใช้เนื้อที่น้อย	-ใช้เนื้อที่ปานกลาง	-ใช้เนื้อที่มาก
2. ด้านเศรษฐศาสตร์			
2.1 เงินลงทุนในการก่อสร้าง	-สูงมาก	-ค่อนข้างสูง	-ค่อนข้างต่ำ
2.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและซ่อมบำรุง	-สูง	-ค่อนข้างสูง	-ต่ำ
2.3 ผลพลอยได้จากการกำจัด	-ได้พลังงานความร้อนจากการเผา	-ปุ๋ยอินทรีย์จากการหมักและโลหะที่แยกก่อนหมัก	-ปรับพื้นที่เป็นสวนสาธารณะ -ได้ก๊าซมีเทนเป็นเชื้อเพลิง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 3

วัสดุก่อสร้างและวัสดุตกแต่ง

3.1 อิฐและวัสดุก่อ

อิฐและวัสดุก่อ (Definition of brick & Build material) หมายถึง วัสดุที่ผลิตเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบผนัง(Wall) ของอาคารทั่วไป อิฐ (Brick) เป็นวัสดุที่นำมาใช้ด้านงานก่อสร้างเป็นเวลาช้านานมาแล้ว เมื่อสมัยโบราณประมาณ 2,000 ปีมาแล้ว อียิปต์เป็นชาติแรกที่ใช้อิฐก่อผนัง ต่อมาพวกบาบิโลเนียพัฒนาต่อมาเรื่อยๆ อิฐในสมัยโบราณจะทำมาจากดินเหนียว โดยการขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐด้วยมือ ซึ่งพบว่าอิฐที่ได้จะมีขนาดไม่เท่ากัน ลักษณะที่ใช้งานแตกต่างจากคอนกรีตในเรื่องความแข็งแรงคือ อิฐที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความแข็งแรงมาก เพราะใช้งานก่อกำแพงหรืองานเพื่อความสวยงาม ในปัจจุบันมีอิฐที่พัฒนาจนมวลอิฐเบา ทนไฟได้ดี กันความร้อนได้ การผลิตอิฐใช้ได้ทั้งแรงคนและเครื่องจักร โดยเครื่องจักรจะผลิตอิฐได้ขนาดค่อนข้างมาตรฐาน เรียบร้อย ผลิตได้เป็นจำนวนมาก

ประเภทของดอิฐและวัสดุก่อ (Type of brick & Build material) โดยปกติอิฐและวัสดุก่อจะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

3.1.1 อิฐมอญ

เป็นอิฐที่นิยมใช้กันมาก มีราคาถูก เหมาะสำหรับก่อกำแพง หรือก่อผนังที่ ต้องการฉาบปูนทับผิวอีกครั้ง ลักษณะเป็นอิฐที่มีผิวขรุขระไม่เรียบร้อยนัก บางชนิดที่ผิวทำเป็นรอยเส้นไว้บนแผ่นอิฐเพื่อเป็นที่ยึดเกาะของปูนก่อ บางชนิดทำเป็นรูไว้ในแผ่นอิฐตลอดความยาวเพื่อให้มีน้ำหนักเบา เป็นอิฐที่ได้จากการใช้วัสดุจำพวกดินเหนียวหรือดินดาน มาผสมกับทรายและขี้เถ้าแกลบผสมเข้าด้วยกัน ขนาดของอิฐมอญ มีขนาดต่างๆ กันแล้วแต่ความนิยม ในปัจจุบันมีขนาดกว้าง 7 ซม. ยาวประมาณ 15-15.5 ซม. หนาประมาณ 3.5-4 ซม. ขนาดของอิฐที่ดีต้องมีความยาวเป็นสองเท่าของความกว้าง (L=2D) บวกกับระยะปูนก่อประมาณ 1 ซม.

อิฐมอญตัน	อิฐมอญกลวง

ภาพที่ 3.1 แสดงลักษณะอิฐ

3.1.2 อิฐมาตรฐาน บางบัวทอง (บ.บ.ท.) และ บ.ป.ก. (บางปะกง)

เป็นอิฐที่ใช้ดินเหนียวบดละเอียดเข้าอัด แน่นด้วยเครื่องจักร ภายในแผ่นอิฐมีเนื้อแน่น ผิวหน้าเรียบ และมีร่องสำหรับให้ปูนก่อยึดเกาะ บางแห่งผู้ผลิตได้ปั๊มตัวอักษรไว้ที่แผ่นอิฐเพื่อการโฆษณาของโรงงานที่ผลิตด้วยอิฐชนิดนี้ที่เรียกว่า อิฐประดับ สำหรับใช้ก่อโชว์แนวไม่ต้องฉาบปูน มีขนาดใหญ่กว่าอิฐมอญ ลักษณะของอิฐมาตรฐานจะมีลักษณะผิวเรียบ สวยงาม ขนาดของอิฐมาตรฐาน ที่ใช้ในงานก่อสร้างโดยทั่วไปแล้ว ขนาดที่ผลิตออกมาจากเครื่องจะมีหน่วยเป็นนิ้ว(Inch) มีขนาดกว่า นิ้ว กว้าง นิ้ว ดังภาพที่ 3.2

อิฐบางปะกง ขนาดของอิฐมาตรฐาน

ภาพที่ 3.2 แสดงขนาดมาตรฐานทั่วไปของอิฐ บางบัวทองและอิฐบางปะกง

3.1.3 อิฐเคลือบสี (Enamelled Brick)

โดยการทาสีเคลือบลงบนแผ่นอิฐแล้วนำไปเผามีคุณสมบัติกันน้ำได้ มีประโยชน์ใช้งานตบแต่งและใช้ในส่วนที่ต้องทำความสะอาดบ่อยๆ เช็ดล้างออกได้ง่าย ทั้งยังช่วยสะท้อนแสงสว่างภายในอาคาร มีสีขาวนวล สีดำ สีเขียว และสีอื่นๆ

ภาพที่ 3.3 ลักษณะของอิฐประดับ

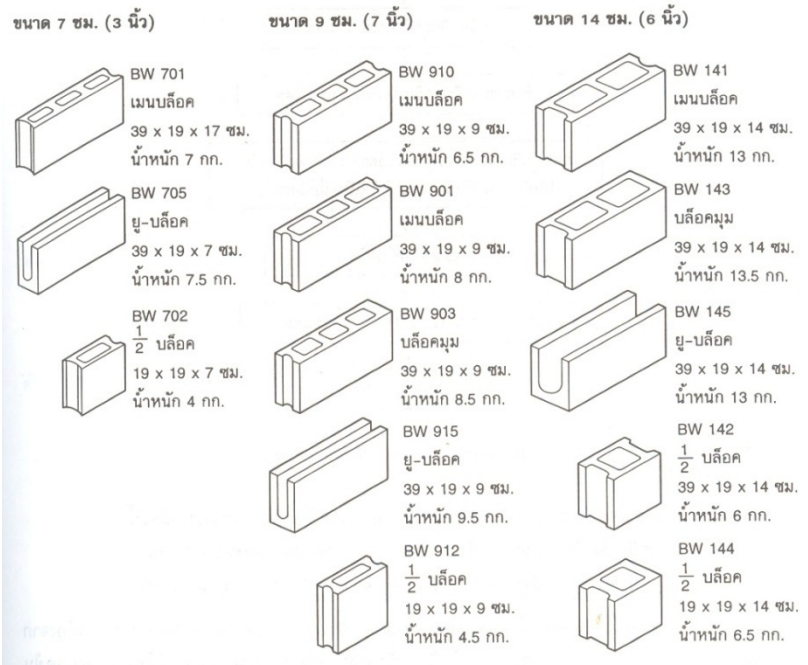
3.1.4 อิฐบล็อก (Concrete Brick) หรือคอนกรีตบล็อก

เป็นวัสดุก่อที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมกับทราย หินเล็กๆ และน้ำผสมเข้ากัน นำไปใส่เครื่องอัดในแบบเหล็กให้แน่น แล้วนำออกมาจากแบบไปเรียงบ่มไว้ในที่ร่ม 7-14 วัน จนแข็งแรงพอจึงนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้ คอนกรีตบล็อกมีทั้งแบบรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก

ภาพที่ 3.4 แสดงลักษณะของอิฐบล็อกกลวงรับน้ำหนัก

อิฐบล็อกกลวง เป็นอิฐที่มีโพรงหรือรูอยู่บริเวณแกนของก้อน สามารถแบ่งได้ 2 แบบ

1. อิฐกลวงรับน้ำหนัก (Load bearing hollow core concrete unit) หมายถึงอิฐกลวงที่ใช้ในการก่อให้รับน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักของตัวเอง ได้โดยปลอดภัย ดังแสดงในภาพที่ 3.4
2. อิฐกลวงไม่รับน้ำหนัก (non- load bearing hollow core concrete unit) ใช้กับงานก่อซึ่งไม่ได้รับน้ำหนักบรรทุกใดๆ นอกจากน้ำหนักของตัวเอง ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ลักษณะและขนาดของอิฐบล็อกหรือคอนกรีตบล็อก

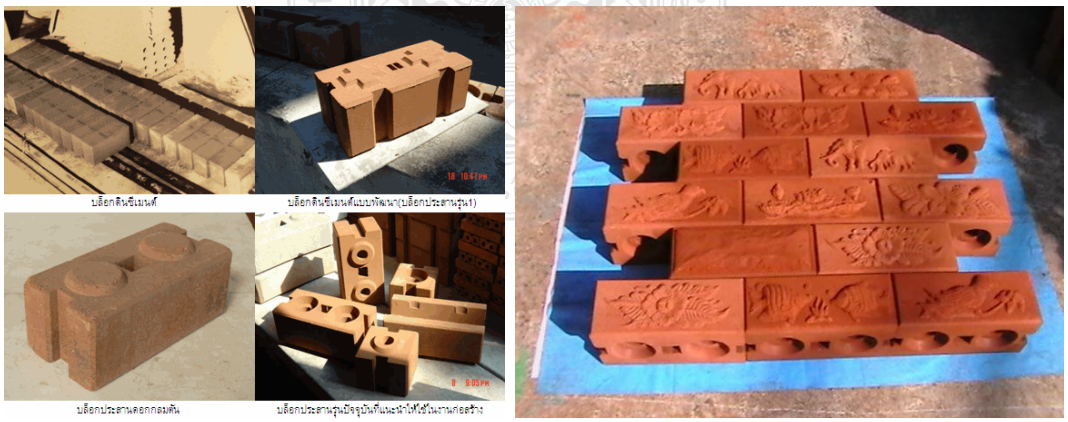
3.1.5 อิฐมวลเบา

เป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่มีมวลเบากว่าคอนกรีตทั่วไปที่มีขนาดเดียวกัน ผลิตจากวัตถุดิบตามธรรมชาติ ใช้สำหรับก่อเป็นผนังเพื่อแบ่งหรือกั้นระหว่างห้องของบ้าน หรือสำหรับวัตถุประสงค์บางประการเป็นพิเศษ เช่น กันไฟ, กันเสียง, กันความร้อนเป็นต้น

ภาพที่ 3.6 แสดงอิฐมวลเบา

3.1.6 บล็อกประสาน

คือ วัสดุก่อรับน้ำหนักที่ได้ทำการพัฒนารูปแบบให้มีรู และเดือยบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้าง โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในพื้นที่ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆที่มีความเหมาะสม นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม อัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่ม ให้บล็อกแข็งตัวประมาณ 7 วัน จะได้คอนกรีตบล็อกที่มีความแข็งแกร่ง มีรูปลักษณะพิเศษที่สามารถใช้ในการก่อสร้างอาคารต่างๆ หรือก่อเป็นถังเก็บน้ำได้อย่างรวดเร็ว สวยงาม และประหยัดกว่างานก่อสร้างทั่วไป



ภาพที่ 3.7 แสดงลักษณะของบล็อกประสาน

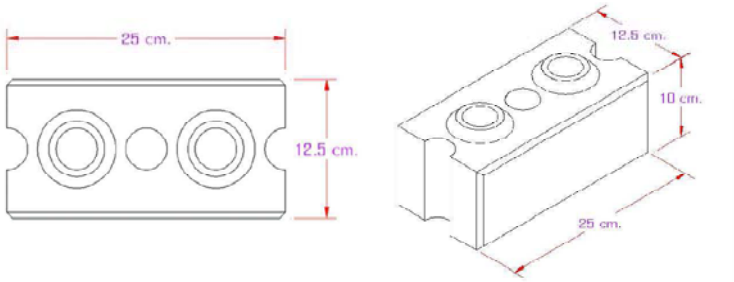
บล็อกประสาน วว. สามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทตามการใช้งาน คือ บล็อกประสาน วว. แบบก้อนตรงขนาดกว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 12.5 × 25 × 10 ซม. และขนาด 15 × 30 × 10 ซม. ใช้สำหรับการก่อสร้างอาคารทั่วๆ ไป และแบบก้อนโค้งขนาดกว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 15 × 30 ×10 ซม. รัศมี

3.00 เมตร ใช้สำหรับการก่อสร้างถังเป็บน้ำความจุ 7 ลบ.ม. ต่อความสูง 1 เมตร ซึ่งสามารถสร้างได้สูง 3 เมตร หรือเก็บน้ำได้ 21 ลบ.

บล็อกประสานก่อสร้าง

แบ่งการใช้งานเป็น 2 ประเภทเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน

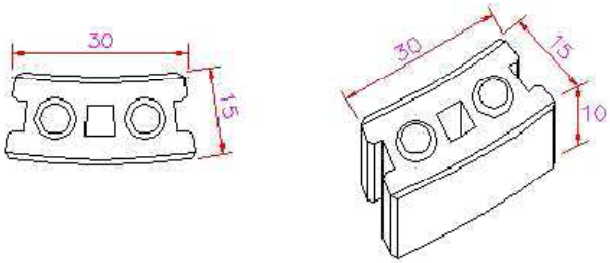
1. บล็อกตรงหรือทรงสี่เหลี่ยมใช้สำหรับก่อสร้างอาคาร



ขนาดเต็มก้อน 12.5x25x10 ซม.

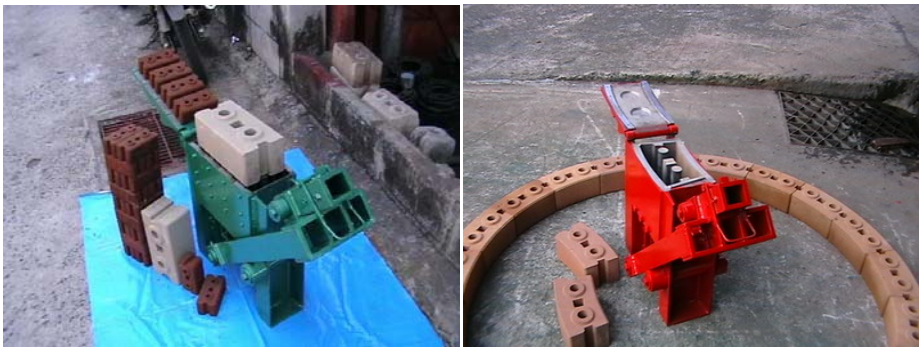
ภาพที่ 3.8 แสดงขนาดของบล็อกประสาน

2. บล็อกโค้งใช้สำหรับก่อสร้างถังเก็บน้ำ



ขนาดเต็มก้อน 15x30x10 ซม.

ภาพที่ 3.9 แสดงขนาดของบล็อกประสานแบบโค้ง

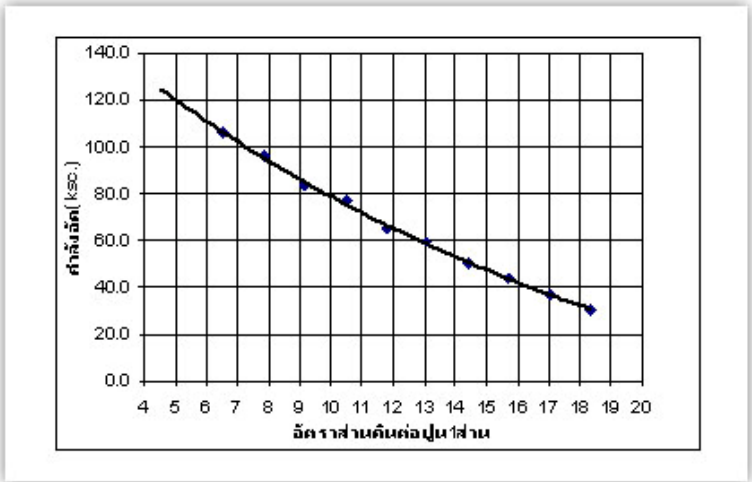


ซินวา-แรม (Cinva Ram)

ภาพที่ 3.10 แสดงเครื่องอัดบล็อกประสาน

อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อวัตถุดิบของบล็อกประสาน

อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบในการผลิตบล็อกประสาน หาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยส่วนใหญ่แนะนำให้ผลิตที่อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมประมาณ 1: 6 ถึง 1: 7 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่ กับคุณภาพของมวลรวมเป็นหลัก แต่อาจปรับส่วนด้วยตนเองได้ โดยการผสมปูนซีเมนต์กับวัตถุดิบในอัตราส่วน ที่ต่าง ๆ กันไปเช่น ผลิตบล็อกด้วยอัตราส่วน 1: 6 , 1: 7 , 1: 8 และ 1: 9 จำนวน สูตรละ 3 ก้อน แล้วส่งตัวอย่างมาทดสอบความต้านทานแรงอัด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่ใช้ และความต้านทานแรงอัดที่ได้ดังรูป



ภาพที่ 3.11 แสดงอัตราส่วนดินต่อปูน 1 ส่วนที่มีผลต่อกำลังอัด

จากรูปที่แสดง ในแกนตั้งเป็นกำลังอัด แกนนอนเป็นอัตราส่วนของดินที่ผสม ต่อซีเมนต์ 1 ส่วน โดยกำลังตามมาตรฐานจะอยู่ประมาณ 7 MPa (ประมาณ 70 กก./ซม. ดังนั้น อัตราส่วนดินที่แนะนำจึงอยู่ในช่วงประมาณ ซีเมนต์ 1 ส่วนต่อดิน 6-8 ส่วน โดยอัตราส่วนที่น้อยกว่านี้ถึงแม้กำลังจะดีขึ้นแต่ในแง่การลงทุนไม่คุ้มเนื่องจากต้องเปลืองปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้นมาก และในอัตราส่วนดินที่มากเกินไปก็อาจจะทำให้กำลังไม่ได้ตามมาตรฐาน โดยสังเกตได้จากค่าอัตราส่วนซีเมนต์ต่อดินที่ประมาณ 1 : 8 ขึ้นไปกำลังมีแนวโน้มที่จะลดลงต่ำกว่า 7 MPa (ประมาณ 70 กก./ซม.) แต่ทั้งนี้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อดิน จะเป็นเท่าไรแน่ขึ้นอยู่กับแหล่งดินที่นำมาใช้ ดังนั้นเมื่อผลิตแล้วอย่าลืมทดสอบด้านกำลังอัดด้วยว่าได้เท่าไรแน่ จะได้ทราบถึงปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมจริงๆที่ควรใช้ เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองเกินไปหรือกำลังไม่ได้มาตรฐาน

บล็อกประสานเป็นวัสดุสร้างบ้านในระบบผนังรับน้ำหนัก ที่มีความแข็งแรงสูง มีความสวยงามในตัวเอง ก่อสร้างง่าย ด้วยรูปแบบที่หลากหลาย และราคาค่าก่อสร้างที่ต่ำกว่าบ้านก่ออิฐฉาบปูนทั่วไป

15-20 % แต่บ้านบล็อกประสานจะมีความแข็งแรง สวยงามเพียงใด สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงก็คือคุณภาพของบล็อกประสานนั่นเอง

ภาพที่ 3.12 แสดงการนำบล็อกประสานก่อสร้างเป็นบ้านพักอาศัย

ภาพที่ 3.13 แสดงการนำบล็อกประสานมาประดับตกแต่ง

3.2 วัสดุประดับและประกอบตกแต่งผนัง

3.2.1 หินเทียม (Craft stone)

คือ เป็นวัสดุตกแต่งประกอบอาคาร นิยมประดับตกแต่งผนัง โดยแต่ละผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะเฉพาะที่แต่งต่างกันตาม วัตถุดิบที่ใช้ กรรมวิธีการผลิตและการออกแบบ

คุณสมบัติโดยทั่วไป

ส่วนประกอบของวัสดุ	:	Portland ซีเมนต์ เหล็ก ออกซิเจน และ สี
น้ำหนักต่อหน่วย	:	35-45 กก/ลบ.ม. (แตกต่างกันขึ้นอยู่กับรุ่นของผลิตภัณฑ์)
ความหนา	:	20-40 มม. (แตกต่างกันขึ้นอยู่กับรุ่นของผลิตภัณฑ์)

ลักษณะทางกายภาพ

ช่องว่าง	:	น้อยกว่า ร้อยละ 35
แรงดัน	:	มากกว่า 12.0N/ตารางมิลลิเมตร
ความโค้ง	:	มากกว่า 5.0N/ตารางมิลลิเมตร

สามารถทนต่อสภาวะจุดเยือกแข็ง 25 รอบของการละลายอย่างอิสระ บรรจุ 10 ที่อุณหภูมิ –15 องศาเซลเซียส และ 15 รอบที่ –5 องศาเซลเซียส ในช่วงท้ายของการละลายแต่ละครั้ง ตัวอย่างที่ทำการทดสอบในน้ำที่มีอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ไม่มีการผันแปรและสลายตัวของตัวอย่างทุกชิ้นที่ทำการทดสอบ

ลักษณะรูปแบบ สี ผิว ของผลิตภัณฑ์

1. ผลิตภัณฑ์หินเทียมของ Craft Stone

Craft Stone รุ่น Vintage Ledgestone นำเสนอระดับเฉดสีที่เหมือนจริงและน่าทึ่งเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับคุณ ซึ่งในทุกขั้นตอนของการผลิต ขนาดของความสูงนั้นจะมีมาตรฐานอยู่ที่ 10 ซม. เท่ากันทุกชิ้น ซึ่งจะทำให้หินเทียม รุ่น Vintage Ledgestone เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการติดตั้ง โดยที่ความยาวจะอยู่ที่ 20 ซม. 30 ซม. และ 50 ซม.

CSI-021	CSI-022	CSI-023

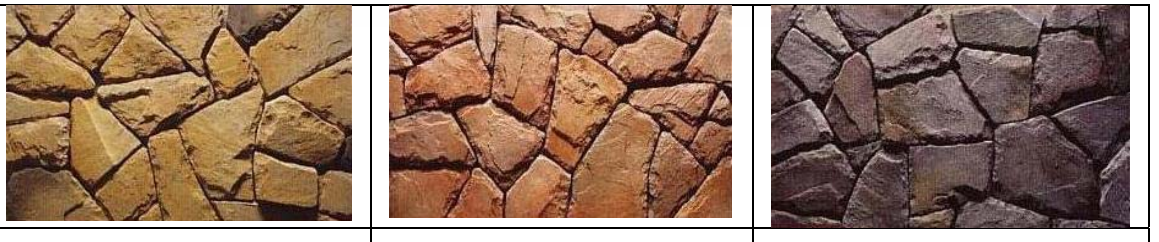
ภาพที่ 3.14 แสดงลักษณะของหินเทียม Craft Stone รุ่น Vintage Ledgestone
ที่มา:http://www.georgeinter.com/index.php

CraftStone รุ่น Country Ledgestone นั้นยังคงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง สำหรับงานผู้ที่ต้องการพื้นผิวที่ไม่แบบ หรือ ราบเรียบจนเกิดไป และ เฉดสีที่ดีที่สุดเพื่อให้เข้ากับงานทีคุณได้ออกแบบดีไซน์ ซึ่งขนาดมาตรฐานจะอยู่ที่ความสูง 12 ซม. ยาว 42 ซม.

CSI-031	CSI-032	CSI-035

ภาพที่ 3.15 แสดงลักษณะของหินเทียม CraftStone รุ่น Country Ledgestone

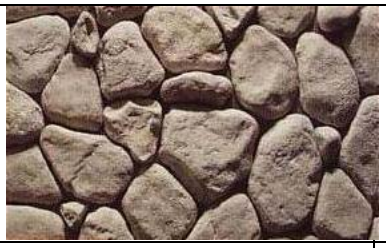
Quarry Stone Collection ลักษณะพิเศษของหินชนิดนี้คือมีทั้งผิวที่หยาบและเรียบที่สมบูรณ์แบบเกิดจากการระเบิดหินตามธรรมชาติ ซึ่งถูกพบและได้ถูกนำมาใช้เป็นจุดสนใจของตัวผลิตภัณฑ์ Craft Stone ใน Collection ของ Quarry Stone



CSI-084	CSI-085	CSI-086

ภาพที่ 3.16 แสดงลักษณะของหินเทียม Quarry Stone Collection

Craft Stone รุ่น River Rock เต็มไปด้วยการเก็บรายละเอียดที่เลียนแบบโครงสร้างและความงามที่ล้วนแต่มาจากธรรมชาติทั้งสิ้น ซึ่งเป็นรูปแบบของหินนั้นเกิดจากก้อนหินที่พบในกระแสน้ำ

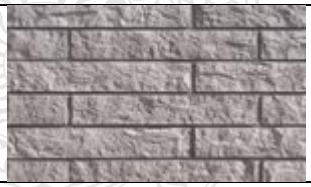
		
CSI-080	CSI-081	CSI-087

ภาพที่ 3.17 แสดงลักษณะของหินเทียม Craft Stone รุ่น River Rock

Sand Stone Collection

CSI-603	CSI-604	CSI-605

ภาพที่ 3.18 แสดงลักษณะของหินเทียม Sand Stone Collection

		
Stack Ledge Stone	Provance Stone	Cobble Feeling Stone
Granite Castle Rock	Quick Stone	Edge Stone

ภาพที่ 3.19 แสดงลักษณะหินประดับแบบต่างๆ

นอกจากนี้แล้วหินประดับอาคารยังถูกออกแบบในลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละบริษัทตามแนวความคิดสร้างสรรค์ ดังภาพที่ 3.19

3.2.2 ผิวเคลือบวัสดุ

1. **สี ผิวพ่นเคลือบ (Texture spray)** เป็นสีพ่นเคลือบผิวตกแต่งผนัง ด้วยการใช้หินพ่นไปบนผนังของท่าน พ่นได้ทุกพื้นผิว ตกแต่งได้ทั้งภายนอกและภายในอาคาร พ่นได้ทุกพื้นผิว มีความแข็งแรงทนทาน ได้ความรู้สึกธรรมชาติ ไม่เป็นเชื้อรา ไม่เกิดตะไคร่น้ำ สีไม่ซีด

ผลิตภัณฑ์วัสดุประดับของ C.V.Natural Stone Co.,Ltd

ที่มา: http://www.nsstonetexture.co.th/stone.html

Rainy Stone	Sand Stone	Granit Mist

ภาพที่ 3.20 แสดงลักษณะผิวพ่นเคลือบ

2. **ผิวพ่นเคลือบประติมากรรม(Sculpture Spray)** หินพ่นพื้นผิว สำหรับงานพ่นตกแต่งงานประติมากรรม ไม่ว่าจะเป็น งานหล่อไฟเบอร์กลาส งานหล่อคอนกรีต งานแกะโฟม งานแกะไม้ ใช้ตกแต่งให้ชิ้นงานประติมากรรมของท่าน มีพื้นผิวเป็นหินทราย หินแกรนิต หรือ Lime Stone ใช้ได้กับงานประติมากรรมที่อยู่ภายนอกอาคาร และภายในอาคาร

ภาพที่ 3.21 แสดงลักษณะผิวพ่นเคลือบประติมากรรม

บทที่ 4

วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

1. ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I : ตราช้างของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทยจำกัด(มหาชน) ผลิตขึ้นโดยมีคุณสมบัติตามกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก.15 เล่ม1-2547 ประเภทที่ 1 และมาตรฐาน ASTM(150-71 Type I)

2. ปูนขาว : เป็นวัสดุที่ได้จากการเผาหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) โดยใช้ความร้อนสูง จะได้เป็นปูนสุก(แคลเซียมออกไซด์, CaO, lime) เมื่อเย็นตัวลงแล้วพรมน้ำให้ชุ่ม ปูนสุกจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนที่เป็นผงแห้งได้เป็น ปูนขาว และส่วนที่เป็นสารแขวนลอยคือ น้ำปูนไลม์ (Milk of lime) ใช้ในการปรับค่ากากตะกอนเยื่อกระดาษที่เป็นกรดให้มีค่า PH = 6

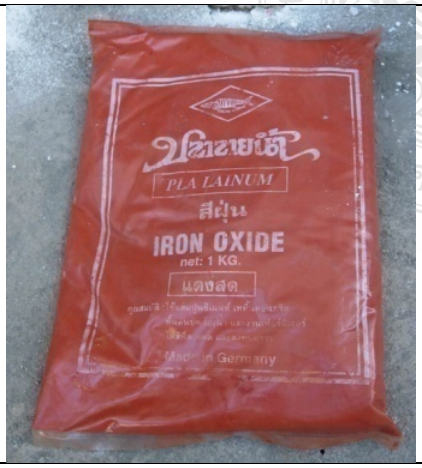
3. ทรายแม่น้ำ : เป็นวัสดุผสมละเอียดที่ผสม โดยเป็นทรายละเอียดน้ำจืดที่มีขนาดของเม็ดทรายประมาณ 1.5 -2.0 มม.

4. ดินลูกรัง (Lateritic soil) : ดินลูกรังได้จากภาคเหนือของประเทศไทย (จ.อุทัยธานี) ร่อนผ่านตะแกรง 2.38 mm. โดยมีองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีดังตารางที่ 4.1-4.2

4. ผงสี : ผงสีแดงสำหรับทำตกแต่งสีของพื้นหินขัด (Red Iron Pigment) KS M 5131

5. น้ำ : น้ำประปา ที่มีค่า pH 6.0 ±0.5 มีลักษณะใส สะอาดและสามารถดื่มได้

6. ตะกอนเยื่อกระดาษ: จากโรงงานผลิตกระดาษที่ใช้ยูคาลิฟตัสเป็นวัตถุดิบจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษใช้กรรมวิธีทางเคมี ที่ผ่านการบำบัดแล้ว เป็นตะกอนเยื่อกระดาษที่มีลักษณะเส้นใยสั้นที่ถูกคัดแยกออกมาจากนำไปใช้ในการกระบวนการผลิตกระดาษที่มีคุณภาพดังแสดงในภาพที่ 4.2

ปูนซีเมนต์	ปูนขาว
ทราย	ดินลูกรัง(Lateritic Soil)
	
ผงสี	ตะกอนเยื่อกระดาษ

ภาพที่ 4.1 แสดงวัตถุดิบใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตชิ้นทดสอบ

ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะตะกอนเยื่อกระดาษถูกคัดแยกออกจากกระบวนการผลิตกระดาษ

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติทางเคมีของดินลูกรัง (Lateritic soil) [12]

สมบัติ	**% โดยน้ำหนัก**
Ferric oxide (Fe_2O_3)	1.5-3.0
Aluminum oxide (Al_2O_3)	8-12
Silicon Dioxide (SiO_2)	75-85
Calcium oxide (CaO2)+ other material	1.5-3.5
Loss on ignition	<5

ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง (Lateritic soil) [14]

สมบัติ	**คำอธิบาย**
Color	สีแดง
Specific gravity	2.58-2.66
Plasticity index	Non-plastic
Maximum dry density	1700-2200 กิโลกรัม/ลบ.ม.
Optimum moisture content	10-20%โดยน้ำหนัก
Dry shrinkage	2-8% โดยน้ำหนัก
Fire shrinkage	2.5-10% โดยน้ำหนัก
Particle size	<2.87 mm.

4.2 อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ

นำวัตถุดิบตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราส่วนผสม

สัญลักษณ์	อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก				
	ซีเมนต์	ดินลูกรัง	ทราย	ผงสี (%ของน้ำหนักทราย)	เยื่อกระดาษ
Sp1	1	5	0	0	0
Sp2	1	5	0	0	0.3
Sp3	1	5	0	0	0.6
Sp4	1	5	0	0	0.9
Sp5	1	0	5	0.02	0
Sp6	1	0	5	0.02	0.3
Sp7	1	0	5	0.02	0.6
Sp8	1	0	5	0.02	0.9

อัตราส่วนของน้ำโดยน้ำหนัก : 2 เท่าของซีเมนต์

4.3. กรรมวิธีการผลิตชิ้นทดสอบ

4.3.1 การเตรียมกากตะกอนเยื่อกระดาษกระดาษ

การเตรียมการตะกอนเยื่อกระดาษมีลำดับในการจัดเตรียมดังนี้

ภาพที่ 4.3 แสดงการตากกากตะกอนเยื่อกระดาษ

- นำตะกอนเยื่อกระดาษบางส่วนไปตรวจสอบและปรับค่า PH ให้เท่ากับ 6 โดยทำการเติมปูนขาว โดยประมาณ 1 ส่วนต่อตะกอนเยื่อกระดาษ 20 ส่วน แล้วนำตะกอนเยื่อกระดาษที่ได้ไปตากแดด โดยกระจายตะกอนเยื่อกระดาษบนแผ่นผ้าใบจนตากตะกอนแห้ง มีค่าความชื้นประมาณ 10%
- กรองกากตะกอนโดยนำมาร่อนแผ่นตะแกรงเพื่อนำสิ่งเจือปนออก ส่วนที่ได้นำเก็บเป็นวัตถุดิบพร้อมใช้

4.3.2 การผลิตชิ้นทดสอบ

ขั้นตอนการผลิตชิ้นทดสอบสามารถอธิบายได้ดังนี้

- เตรียมวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสม และชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่ใช้ดังแสดงในตารางที่ 4.1
- ทำการผสมส่วนผสมโดยนำส่วนผสมที่แห้งผสมกันโดย ชุดแรกSp1-Sp4 (ซีเมนต์:ดินลูกรัง:เยื่อกระดาษ) และชุดสองSp5-Sp8 (ซีเมนต์:ทราย:ผงสี:เยื่อกระดาษแห้ง) คลุกเคล้าให้เข้ากัน
- เติมน้ำตามอัตราส่วนที่ต้องการ แล้วทำการปั่นด้วยสว่านมือที่มีใบพัดคล้ายใบปั่นน้ำผมไม้ประมาณ 3 นาที
- นำส่วนผสมที่ได้ไปเทลงแบบที่ต้องการผลิต แบบที่หนึ่ง : แบบแม่พิมพ์มาตรฐาน กระทุ้งให้ส่วนผสมกระจายทั่ว แล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ ทิ้งไว้ 3 ชม. จึงถอดแม่พิมพ์ออก แบบที่สอง : เครื่องอัดบล็อกมือ (Cinva Ram) แล้วทำการอัดขึ้นรูปบล็อกประสาน
- นำชิ้นทดสอบที่ได้ไปทำการบ่ม ณ อุณหภูมิอากาศในที่ร่ม โดยทำการคลุมด้วยผ้าพลาสติก จนครบ 28 วันก่อนนำมาทดสอบ

4.4 วิธีทดสอบและเครื่องมือทดสอบ

1. <u>การศึกษาลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนเยื่อกระดาษและลักษณะการยึดเกาะของส่วนผสม</u>
โดยใช้เครื่องภาพถ่ายขยาย และเครื่องตรวจจับความละเอียด (SEM : scanning electron microscope)
2. <u>การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี</u>
โดยใช้วิธี Atomic Absorption Spectroscopy วิเคราะห์หาสารโลหะหนักปนเปื้อน โดยส่งข้อมูลทดสอบที่ ศูนย์เครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
3. <u>การศึกษาหนาแน่นของวัสดุ(Density test)</u>
วิธีหาค่าความหนาแน่น (Bulk density) อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 134-94 โดยวัดความยาว ความกว้าง และความหนา จากจุดในรูปที่4.4 จากนั้นเฉลี่ยค่าความยาว ความกว้าง และความหนาของชิ้นทดสอบที่วัดเพื่อนำไปคำนวณปริมาตร(V) แล้วชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบและ คำนวณความหนาแน่นจากสูตรข้างล่าง ในการทดสอบนี้ ค่าความหนา ความยาว ความกว้าง ที่มีค่าละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

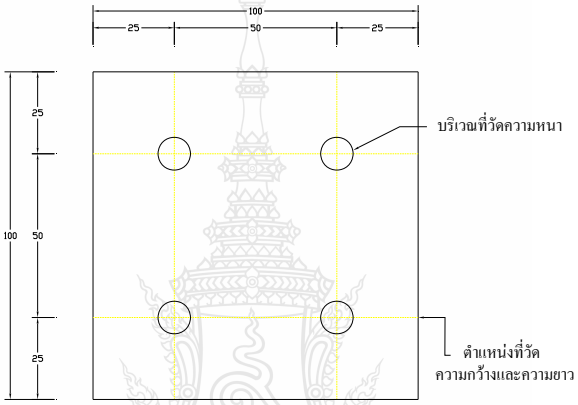
และน้ำหนักชิ้นทดสอบที่มีค่าละเอียดถึง 0.1 กรัม ขนาดของชิ้นทดสอบ 100x100x50 มม. อย่างละจำนวน 3 ชิ้น

$$D = \frac{M}{V} \qquad \text{……..(4.1)}$$

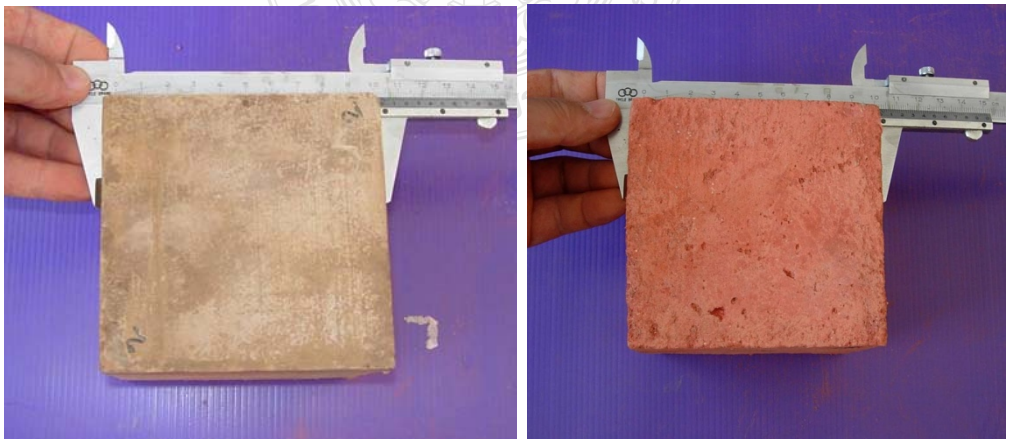
กำหนดให้ D = ความหนาแน่น กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3)

M = มวล หน่วย กรัม (g)

V = ปริมาตร หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)



ภาพที่ 4.4 ตำแหน่งที่วัดความกว้างความยาว และความหนาของแผ่นซีเมนต์เยื่อกระดาษ



ภาพที่ 4.5 แสดงการวัดขนาดชิ้นทดสอบ

ภาพที่ 4.6 การชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบ

4. <u>การทดสอบค่าความเค้นอัด (Compressive Strength)</u>

วิธีทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 109/C 109M-99 โดยมีขนาดของชิ้นทดสอบ 100x100x100 มม. จำนวน 3 ชิ้น

มีขั้นตอนทดสอบดังนี้

1. นำก้อนตัวอย่างที่มีขนาด 100x100x100 mm. วัดขนาดทั้ง 3 ด้านด้วย Vernier ที่มีค่าละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียด 0.05 กรัม เลือกเอาด้านที่เรียบเพื่อนำไปทดสอบ
2. นำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทดสอบแรงดัด บันทึกค่าแรงอัดสูงสุดไว้ แล้วนำค่าแรงอัดสูงสุดมาคำนวณหา Compressive Strength จากสูตร

$$f'\text{C} = \frac{P_u}{A} \qquad \text{…….....(4.2)}$$

กำหนดให้

$f'\text{C}$ = กำลังอัดของตัวอย่างก้อนทดสอบ หน่วย กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

P_u = น้ำหนักหดประลัยของก้อนทดสอบ หน่วย กิโลกรัม

A = พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงกดของก้อนทดสอบ หน่วย ตารางเซนติเมตร

3. ทำการทดสอบตามข้อ 1-2 กับก้อนทดสอบชิ้นต่อไป

ภาพที่ 4.7 แสดงเครื่องทดสอบกำลังอัด

5. การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

ขนาดของชิ้นทดสอบ 100x100x50 มม. จำนวน 3 ชิ้น

วิธีการทดสอบ

1. นำชิ้นงานที่ได้ วัดขนาดทั้งสามด้าน และชั่งน้ำหนักเพื่อใช้หาน้ำหนักจำเพาะ
2. นำชิ้นงานที่จะทำการทดสอบ ไปแช่ในน้ำสะอาด อย่างน้อย 24 ชั่วโมงเพื่อให้ชิ้นทดสอบดูดซับน้ำได้อย่างเต็มที่
3. นำชิ้นงานขึ้นจากน้ำ วางผึ่งไว้บนตะแกรงตาห่าง ซับหยดน้ำที่ติดอยู่ที่ผิวออก นำไปชั่งน้ำหนัก พร้อมทั้งบันทึกผล
4. นำชิ้นงานไปอบในตู้อบที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ เป็นเวลา 24 ชม. หรือจนกว่าการชั่งน้ำหนักแต่ละครั้งห่างกัน 2 ชั่วโมง แล้วน้ำหนักที่ได้ต่างกันไม่เกิน 0.2%
   ทำการคำนวณหาการดูดซึมน้ำของกระดาษ โดยใช้สูตร

$$WA\ (\%) = \frac{M_o - M_i}{M_i} x100 \qquad \text{.....(4.3)}$$

เมื่อ WA = การดูดซึมน้ำ (%)

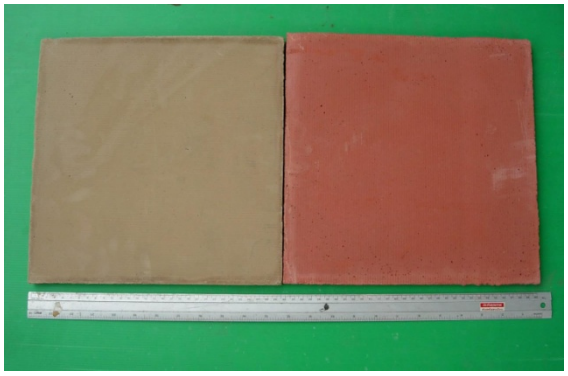
M_o = น้ำหนักหลังแช่น้ำ (กรัม)

M_i = น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (กรัม)

ภาพที่ 4.8 แสดงอุปกรณ์และเครื่องทดสอบการดูดซึมน้ำ

5. <u>การทดสอบค่าการนำความร้อน</u> (Thermal Conductivity)

สำหรับการศึกษาค่าการนำความร้อนของชิ้นงานด้วยเครื่อง Thermal conductivity analyzer Model 88 ดังรูปที่ 4.17 เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ผลตรวจสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุโดยวิธี Steady-State โดยการให้ความร้อนกับชิ้นงาน แล้ววัดค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ด้านบนและด้านล่างของชิ้นงาน เครื่องจะรายงานผลเป็นค่าการนำความร้อน ใช้ชิ้นงานทดสอบกว้าง 200 มิลลิเมตร ความยาว 200 มิลลิเมตร ความหนาไม่น้อยกว่า 45 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้น สภาวะในการทดสอบอุณหภูมิ Cold plate 10.0 °C และอุณหภูมิ Hot plate 37.7 °C อุณหภูมิขณะทำการทดสอบแผ่นชิ้นงานระหว่าง 28-31.5 °C ขณะทดสอบทำการ Cooling equipment โดยใช้น้ำเย็น อุณหภูมิประมาณ 10-15 °C ตลอดเวลา ส่งทดสอบที่สถาบันวิจัยและวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย



รูปที่ 4.9 แผ่นทดสอบ และ เครื่องทดสอบค่าการนำความร้อน

6. <u>การทดสอบบล็อกต้นแบบ</u>

ทดสอบกำลังวัด ความหนาแน่น และการดูดกลืนน้ำของบล็อกต้นแบบจะไปไปตามมาตรฐาน มอก.58-2530 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม(ภาคผนวก ข) จำนวน 5 ชิ้นทดสอบ

4.5 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร

ให้ใช้วิธีการดังต่อไปนี้

(1) <u>สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)</u> ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่างๆ ที่จะใช้ประกอบการคำนวณเพื่อหาความนำความร้อนของวัสดุใดๆ ให้เป็นไปตามที่ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด

(2) <u>ความนำความร้อน (C)</u> ค่าความนำความร้อนของวัสดุใดๆ คือ อัตราส่วนระหว่างค่า

$$C = \frac{k}{\Delta x} \qquad \text{.....4.4}$$

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของวัสดุ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการดังต่อไปนี้

C คือ ค่าความนำความร้อน หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หน่วยเป็น วัตต์ เมตร องศาเซลเซียส

ΔX คือ ความหนาของวัสดุ หน่วยเป็นเมตร

(3) <u>ความต้านทานความร้อน (R)</u> ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุใดๆ คือส่วนกลับของ

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad \text{or} \quad \frac{1}{C} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 4.5$$

ค่าความนำความร้อนซึ่งคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

R คือ ค่าความต้านทานความร้อน โดยมีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์

(4) <u>ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม</u> (U) คือ ส่วนผกผันของค่าความต้านทานความร้อนรวม

$$U = \frac{1}{R_T} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 4.6$$

$$R_T = R_0 + \left[\frac{\Delta X_1}{k_1}\right] + \left[\frac{\Delta X_2}{k_2}\right] + \left[\frac{\Delta X_3}{k_3}\right] + \ldots + \left[\frac{\Delta X_n}{k_n}\right] + R_i \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 4.7$$

โดยที่

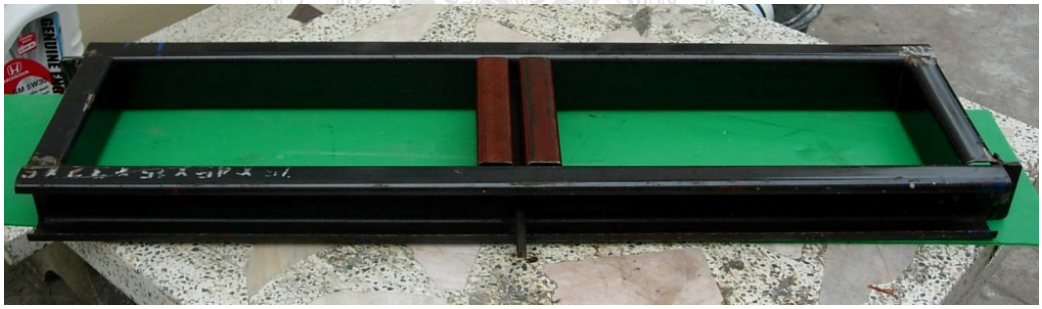
R_T = ค่าการต้านทางความร้อนรวมของผนังตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์

$\Delta X_1, \Delta X_2, \Delta X_3, \ldots\ldots \Delta X_n$ = ความหนาของวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นผนังอาคารชนิดที่ 1,2,3,…., n ตามลำดับ

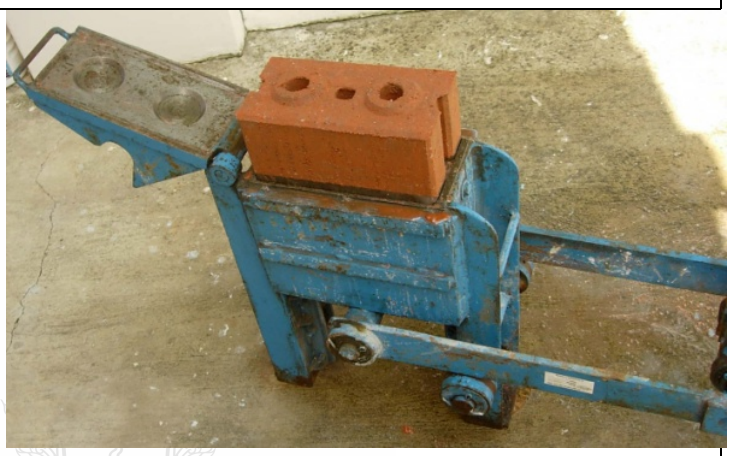
$k_1, k_2, k_3, \ldots.., k_n$ = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุชนิดที่ 1,2,3,…., n ตามลำดับ

4.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

ภาพที่ 4.10 แสดงเครื่องมือผสม (ใบมีดและสว่านไฟฟ้า)



ภาพที่ 4.11 แสดงแบบแม่พิมพ์ต้นแบบบล็อกมาตรฐาน



ภาพที่ 4.12 แสดงแบบแม่พิมพ์ต้นแบบบล็อกประสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 5

ผลการทดสอบและอภิปรายผล

5.1 การศึกษาสารปนเปื้อนจากเยื่อกระดาษเหลือทิ้ง

การศึกษาสารปนเปื้อนทางเคมีของเยื่อกระดาษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษได้ส่งวัตถุดิบทดสอบที่สถาบันวิจัยเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยทำการทดสอบค้นหาตามเกณฑ์กำหนดของการควบคุมปริมาณการใช้สารเคมีในผลิตภัณฑ์ ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับแผ่นอัดสำหรับงานอาคาร ตกแต่งและอุตสาหกรรมเครื่องเรือน (Panels for the Building, Decorating and Furniture Industry) ดูภาคผนวก ข ตามข้อ 5.3. การควบคุมปริมาณการใช้สารเคมีในผลิตภัณฑ์ 5.3.1 ได้อนุญาตให้มีโลหะหนักได้ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด ในการศึกษาหาปริมาณสารโลหะหนักปนเปื้อนในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบ 5 ชนิด ตามสิ่งที่คาดว่าได้จะมีในปริมาณสูง โดยใช้วิธี Atomic Absorption Spectroscopy ผลการทดสอบพบว่ามีโลหะหนัก โครเมียม(IV) ในปริมาณ 9.639 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม , แคดเมียมในปริมาณ 0.125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ปรอทในปริมาณ 0.655 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ตะกั่ว ในปริมาณ 5.585 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสารหนูในปริมาณ 1.497 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งถือว่าสารโลหะหนักปนเปื้อนทั้งหมดต่ำกว่าเกณฑ์ควบคุมการใช้สารเคมีในผลิตภัณฑ์ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับแผ่นอัดสำหรับงานอาคาร ตกแต่งและอุตสาหกรรมเครื่องเรือน

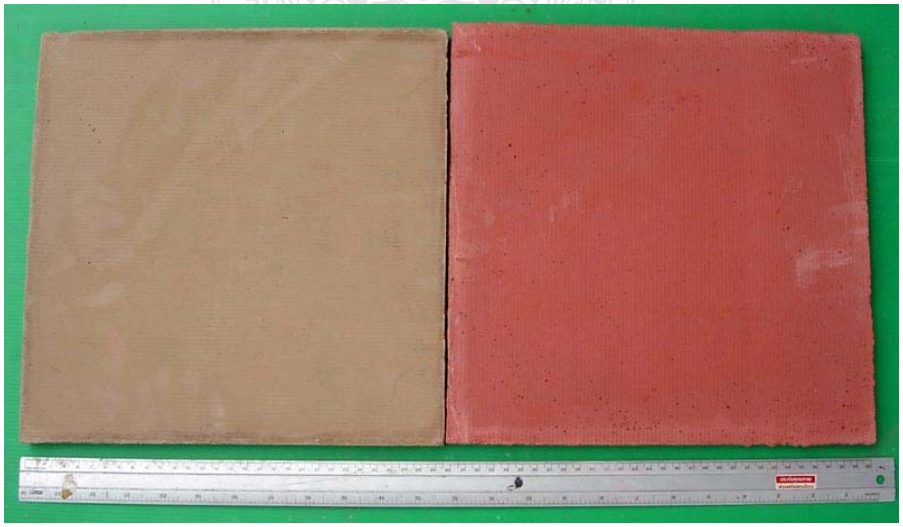
5.1 แสดงลักษณะของเนื้อสีดินแดง และดินทรายที่เป็นวัตถุดิบ

5.2 การศึกษาลักษณะสีและพื้นผิว

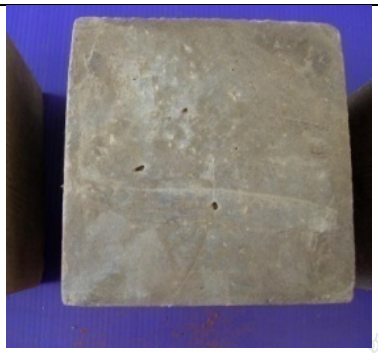
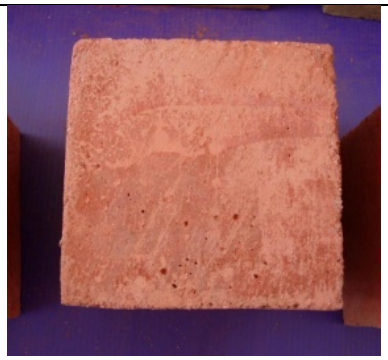
ลักษณะทางกายภาพด้านสีของวัตถุดิบมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยวัตถุดิบที่เป็นดินลูกรังมีสีแดงน้ำตาลเข้ม ส่วนสีของดินทรายมีลักษณะเหลืองเทา ดังภาพที่ 5.1

เมื่อตรวจสอบความหนาแน่นของดินลูกรัง พบว่ามีค่าความหนาแน่นที่ 125 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดินทรายมีค่าความหนาแน่นที่ 137 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งความหนาแน่นของดินลูกรังต่ำกว่าดินทรายประมาณ 9 % สามารถอธิบายได้ว่า ดินทรายมีความหนาแน่นมากกว่า เนื่องมากจากลักษณะทรายที่จับตัวเป็นก้อนขนาดเล็กตันและมีเกล็ดหินขนาดเล็กปนอยู่

การนำวัตถุดิบทรายมาเป็นส่วนผสมในซีเมนต์ถ้าต้องการให้เกิดสีสันสวยงามควรมีการผสมผงสีลงไปด้วย จากการผสมผงสีแดงที่เป็น Iron Oxide ลงไป 2% เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซีเมนต์ พบว่าลักษณะวัสดุผสมที่ได้มีสีแดงที่เด่นชัดกว่า วัสดุผสมดินลูกรังเดิม ดังภาพที่ 5.2 ดังนั้นการเติมผงสีต่างๆลงไปในส่วนผสมซีเมนต์จะทำให้เกิดสีได้ การเติมผงสีนี้จะทำให้นักออกแบบนำมาใช้ในการออกแบบวัสดุผสมในงานประดับและตกแต่งมากขึ้น วัสดุผสมจากดินลูกรังมีสีสันที่เป็นสีดินแดงเทาเป็นธรรมชาติกว่า ซึ่งการใช้สีจากดินลูกรังนั้นจะได้วัสดุผสมที่มีสีเดียวจากส่วนผสมของดินลูกรัง



5.2 แสดงลักษณะของเนื้อสีดินลูกรังและดินทราย เมื่อผสมกับส่วนผสมแล้ว

SP1	SP5
	
SP2	SP6
SP3	SP7
SP4	SP8

5.3 แสดงลักษณะฟองอากาศ/ รูพรุนที่เกิดบนพื้นผิววัสดุทดสอบ

การเกิดโพรงช่องว่างระหว่าเนื้อวัสดุ จากเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเยื่อกระดาษเพิ่มมากขึ้น จะพบว่าเนื้อวัสดุจะมีโพรงอากาศขนาดเล็กมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5.3 สามารถอธิบายได้ว่า ลักษณะเยื่อกระดาษที่สั้น และมีน้ำหนักเบาเมื่อนำมาผสมกับวัสดุผสมจะทำให้เกิดการเรียงตัวของเส้นในที่ยากจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเยื่อปริมาณมาก เมื่อเยื่อกระดาษเพิ่มขึ้น ส่วนการเพิ่มปริมาณเยื่อกระดาษมากขึ้นกับวัตถุดิบระหว่างดินลูกรัง และดินทราย พบว่ามีลักษณะที่เห็นได้ว่าเยื่อกระดาษที่ถูกผสมกับดินทรายจะเกิดโพรงอากาศขนาดที่ค่อยข้างเล็กกว่าและมากกว่าในเยื่อกระดาษที่ผสมกับดินลูกรัง อาจเป็นเพราะว่าเยื่อกระดาษผสมเข้ากันกับดินรังได้ดีกว่าทำให้เกิดช่องว่างระหว่างวัสดุทั้งสองน้อยกว่า ลักษณะผิวที่เกิดขึ้นของชิ้นทดสอบพบว่า ผิวที่เกิดขึ้นของวัสดุผสมดินลูกรังมีลักษณะผิวที่เรียบกว่าผิวที่เกดขึ้นกับผิวของวัสดุผสมดินทราย ซึ่งเป็นเพราะปริมาณของเม็ดทรายมีปริมาณมากกว่าและใหญ่กว่าเม็ดดิน

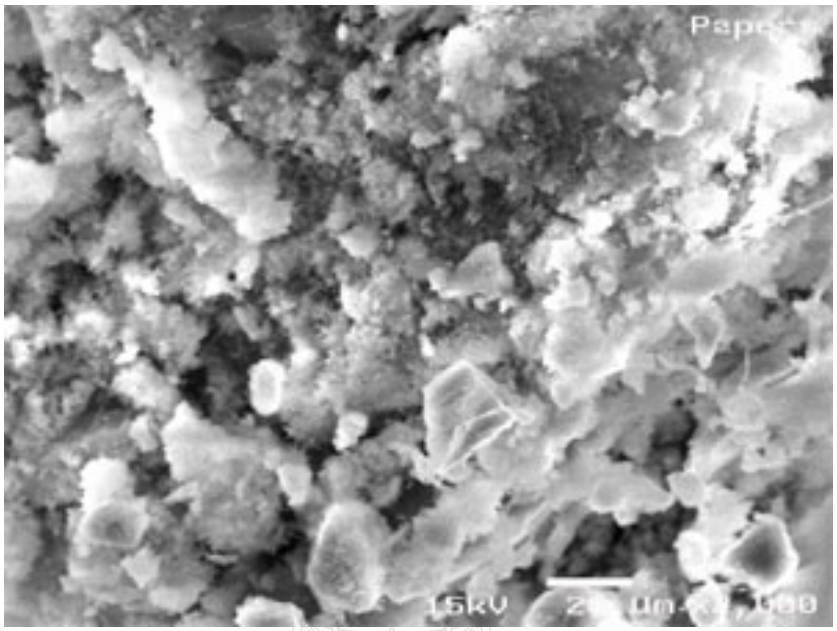
จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางการนำความร้อนสามารถนำมาแสดงผลได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบ	ค่าความหนาแน่น (Kg/m^3)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/mK)	ค่าการรับแรงอัด (kg/cm^2)	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)
SP1	1158.19 ± 1.74	0.912	63.71 ± 0.64	18.08 ± 0.01
SP2	1027.89 ± 6.23	0.726	31.40 ± 0.50	23.27 ± 2.74
SP3	929.93 ± 0.64	0.537	24.46 ± 0.79	29.36 ± 0.61
SP4	902.60 ± 2.99	0.346	21.17 ± 0.68	33.13 ± 1.09
SP5	1424.85 ± 4.13	0.955	70.83 ± 0.83	17.94 ± 0.69
SP6	1226.58 ± 1.16	0.833	36.82 ± 0.85	20.81 ± 2.61
SP7	1089.48 ± 4.47	0.584	24.59 ± 0.80	26.28 ± 0.22
SP8	902.27 ± 3.69	0.363	22.24 ± 0.34	32.24 ± 1.48

5.3 ลักษณะกากตะกอนเยื่อกระดาษและการยึดเกาะของโครงสร้างภายในวัสดุ

เมื่อนำชิ้นทดสอบมาทำการส่องโดยโครงสร้างภายในวัสดุผสมพบว่าการเรียงตัวของเส้นใยมีทิศทางที่ไม่แน่นอนจึงทำให้เกิดโพรงเล็กๆจำนวนมาก ดังภาพที่ 5.4

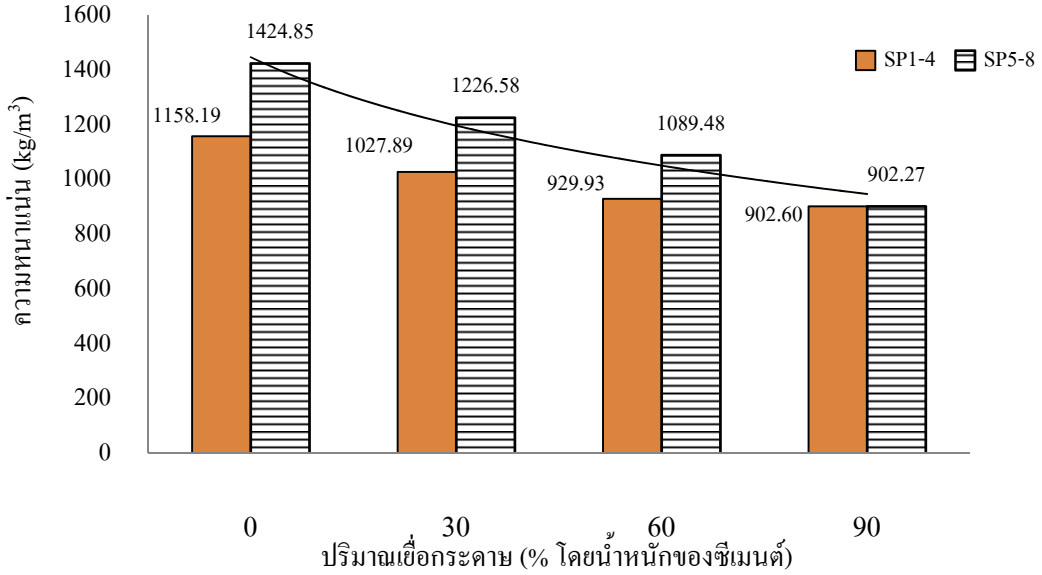


ภาพที่ 5.4 แสดงการส่องกล้องขยายดูโครงสร้างภายใน

5.4 ผลการศึกษาหนาแน่นและค่าการรับแรงอัด

ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบดังแสดงในภาพที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณเยื่อกระดาษในวัสดุผสมเพิ่มมากขึ้นจาก 0%, 30%, 60% และ 90% ตามลำดับ ชิ้นทดสอบจากวัสดุผสมลูกรัง(SP1)ที่เป็นชิ้นอ้างอิง เมื่อเพิ่มส่วนผสมของเยื่อกระดาษจะทำให้มีความหนาแน่นของวัสดุต่ำลง 11.3% (SP2), 19.7% (SP3) และ 22.1% (SP4) ตามลำดับ เมื่อนำชิ้นทดสอบจากวัสดุผสมทราย (SP5)ชิ้นอ้างอิง เมื่อเพิ่มส่วนผสมของเยื่อกระดาษจะทำให้ความหนาแน่นของวัสดุต่ำลง 13.9%(SP6), 23.5% (SP7) และ 36.7% (SP8) ตามลำดับ สามารถอธิปรายได้ว่ามันเป็นผลมาจากอิทธิผลปริมาณเยื่อกระดาษที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบต่ำลงเมื่อปริมาณเยื่อกระดาษที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากเยื่อกระดาษเป็นวัสดุมวลรวมเบาที่มีน้ำหนักเบาและมีความหนาแน่นต่ำ เมื่อพิจารณาดูปริมาณโดยน้ำหนักของเยื่อกระดาษจะน้อย แต่เมื่อทำให้เยื่อกระดาษมีความชื้นที่ 10% แล้วพิจารณาด้วยปริมาตร(มวล)จะมีปริมาณที่มาก ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเยื่อกระดาษจึงทำให้ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบลงลด

อัตราส่วนผสมของวัสดุผสมดินลูกรังชิ้นทดสอบที่ SP4 จะมีค่าความหนาแน่นต่ำสุด และ ที่อัตราส่วนผสมของวัสดุผสมทรายชิ้นทดสอบที่ SP8 มีค่าความหนาแน่นต่ำสุด เมื่อนำค่าความหนาแน่นของวัสดุผสมที่มีวัตถุดิบระหว่างดินลูกรังและดินทรายมาเปรียบเทียบกันพบว่าวัตถุดิบที่ผสมจากดินลูกรัง SP1 จะมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าชิ้นทดสอบจากส่วนผสมของทราย SP4 ประมาณ 18.7% อาจเนื่องมาจากดินทรายที่เป็นวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นมากกว่าดินลูกรัง และเมื่อนำมาผสมกับเยื่อกระดาษจะทำให้เกิดโพรงอากาศขนาดลงจำนวนที่น้อยกว่า

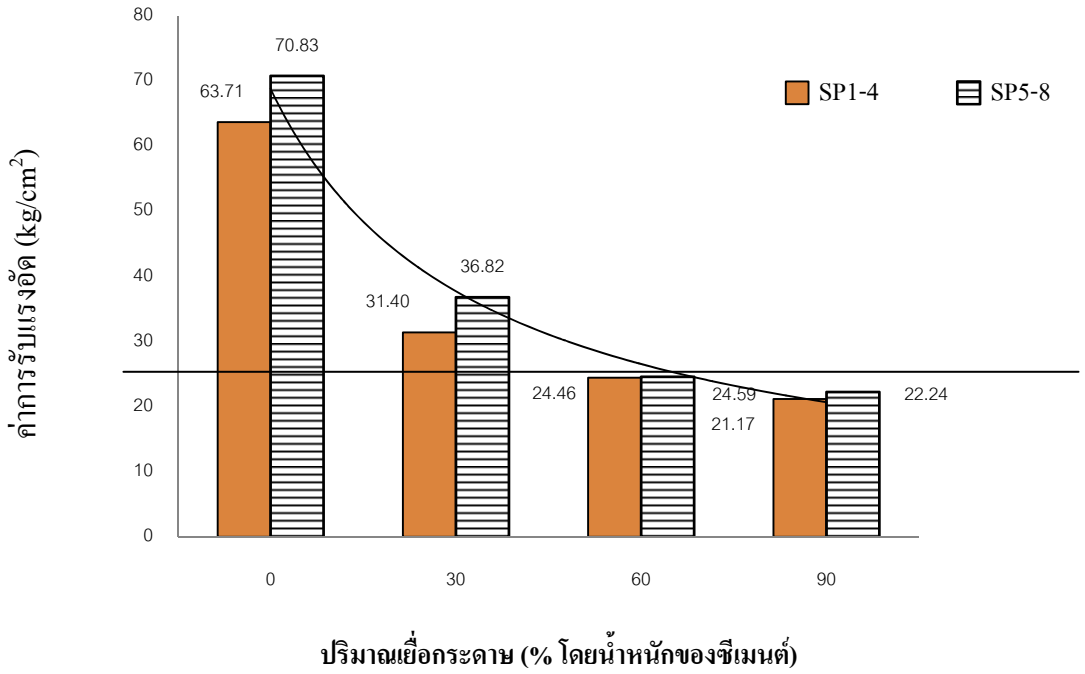


ภาพที่ 5.5 แสดงความหนาแน่นกับปริมาณเยื่อกระดาษ

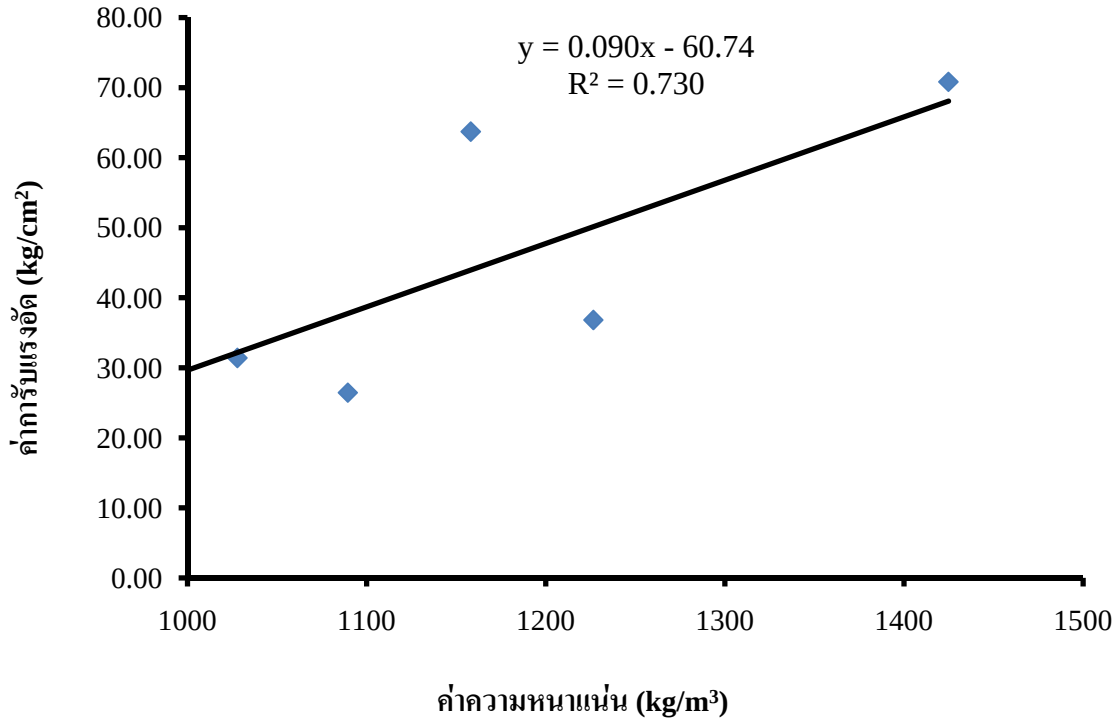
ผลการศึกษาค่าการรับแรงอัดแสดงดังภาพที่ 5.6 แสดงให้เห็นว่าค่าการรับแรงอัดลดลงเมื่อปริมาณเยื่อกระดาษที่เพิ่มปริมาณมากขึ้น โดยชิ้นทดสอบจากอัตราส่วนผสมของทราย (SP5-SP8) สามารถรับแรงอัดได้มากกว่าอัตราส่วนผสมของดินลูกรัง (SP1-SP4)

ชิ้นทดสอบ SP1-SP4 ที่มีส่วนผสมของดินลูกรังเดิมจะมีค่าการรับแรงอัดต่ำกว่าชิ้นทดสอบ SP5-SP8 ที่มีส่วนผสมของทราย อัตราส่วนที่ผสมเยื่อกระดาษเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้รับแรงอัดได้ต่ำลง โดยสามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนผสมที่มีทราย (SP4-SP8) สามารถรับแรงอัดได้ดีกว่า เนื่องจากอัตราส่วนผสมจากวัตถุดิบทรายมีเนื้อวัสดุที่แข็งกว่าเมื่อนำมาผสมกับวัสดุประสานมีการยึดเกาะของเนื้อวัสดุที่ดี และเกิดโพรงอากาศน้อยกว่าจึงทำให้มีค่าการรับแรงอัดดีกว่าอัตราส่วนผสมจากวัตถุดิบดินลูกรัง

เมื่อพิจารณาค่าการรับแรงอัดและความหนาแน่นของวัสดุ ดังภาพที่ 5.7 สามารถอธิปรายได้ว่า ค่าการรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของวัสดุสูงขึ้น



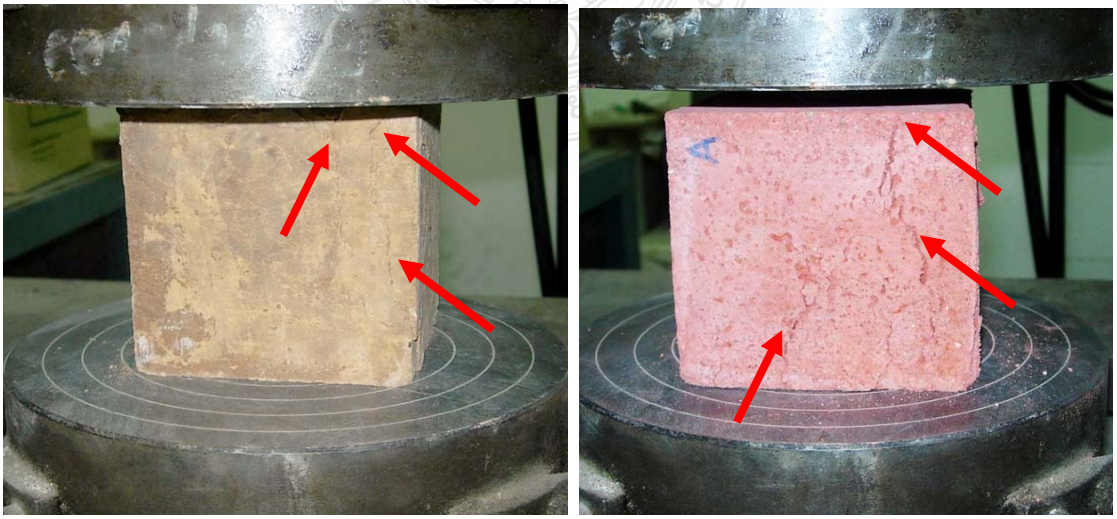
ภาพที่ 5.6 แสดงค่าการรับแรงอัดกับปริมาณเยื่อกระดาษ



ภาพที่ 5.7 แสดงค่าความหนาแน่นและความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ

เมื่อพิจารณาการรับแรงอัดของวัสดุตามเกณฑ์ มอก. 58-2530 บล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนัก (Non Load Bearing Concrete Unit) นำมาเปรียบเทียบกับชิ้นทดสอบจะพบได้ว่าทุกส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานบล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีค่าการรับแรงอัดสูงกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ยกเว้นอัตราส่วนผสมของดินลูกรังชิ้นทดสอบ SP3-4 และอัตราส่วนผสมของทรายชิ้นทดสอบ SP7-SP8 เมื่อพิจารณาลำดับความสำคัญตามเกณฑ์มาตรฐานวัสดุก่อสร้างชนิดบล็อกคอนกรีตก่อสร้างไม่รับน้ำหนัก(Non load bearing Concrete Unit) และค่าความหนาแน่น(น้ำหนักที่ต่ำ) เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่สามารถนำมาผลิตบล็อกก่อสร้างได้ พบว่าที่อัตราส่วนผสมของปริมาณเยื่อกระดาษ 30% ของซีเมนต์จะเหมาะสมที่สุด คือ ชิ้นทดสอบที่ SP6 ที่อัตราส่วนของ 1 : 5 : 0.02 : 0.3 (ซีเมนต์ : ดินทราย : ผงสี : เยื่อกระดาษ) ส่วนลำดับที่สองคือ ชิ้นทดสอบที่ SP2 ที่อัตราส่วนของ 1 : 5 : 0.3 (ซีเมนต์ : ดินลูกรัง : เยื่อกระดาษ) ซึ่งอัตราส่วนทั้งสองนี้มีลักษณะที่ถูกพิจารณาและนำไปผลิตเป็นบล็อกก่อสร้างขนาดตามมาตรฐาน และผลิตเป็นบล็อกประสานเพื่อทดสอบต่อไป

ลักษณะการแตกร้าวเมื่อชิ้นทดสอบได้รับแรงอัดสูงสุดดังภาพที่ 5.8 จะเห็นได้ว่าลักษณะการแตกร้าวของชิ้นทดสอบวัสดุผสมกับทรายจะมีแนวการแตกร้าวหลากหลายแนวที่แสดงความเปราะมากกว่าชิ้นทดสอบวัสดุผสมกับดินลูกรัง ที่มีการค่อยๆยุบตัวลงและแตกร้าว



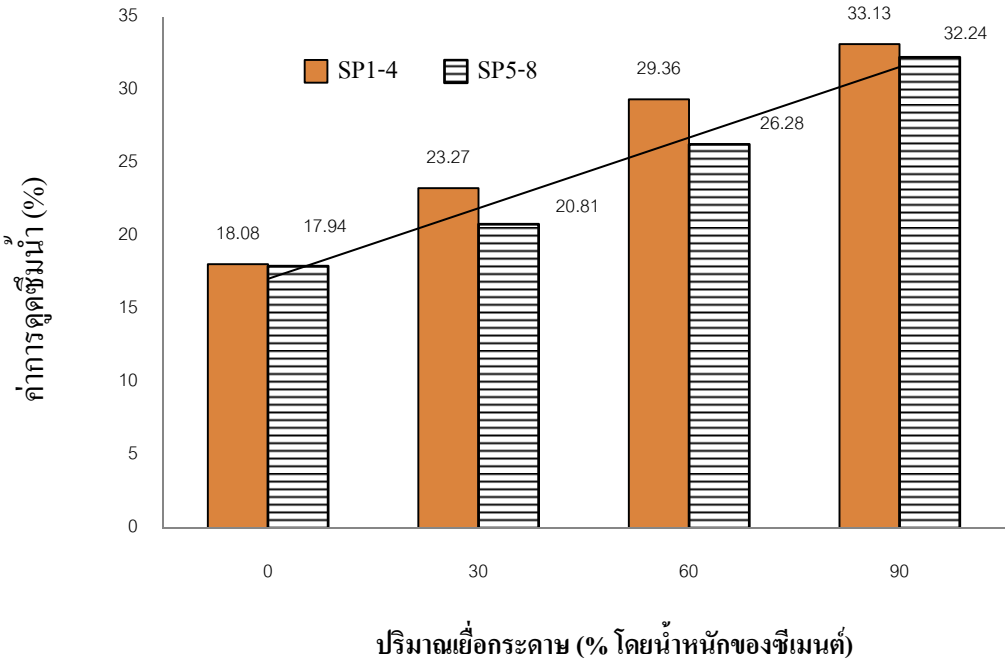
a) วัสดุผสมกับดินลูกรัง b) วัสดุผสมกับดินทราย

ภาพที่ 5.8 แสดงลักษณะการแตกร้าวเมื่อรับแรงอัดสูงสุด

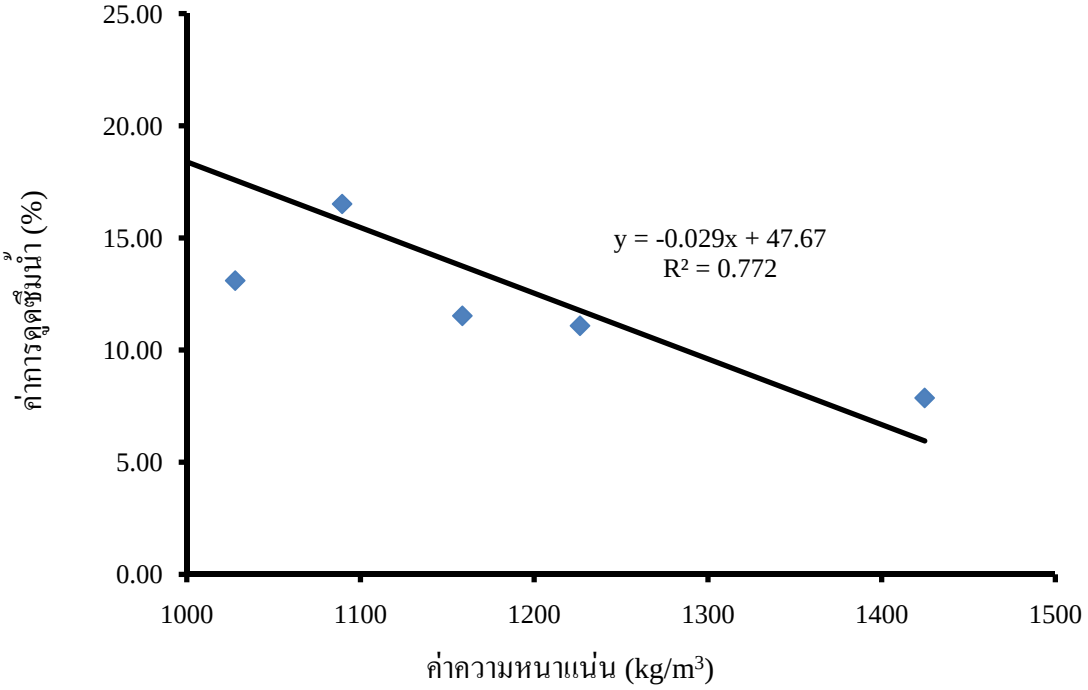
5.5 ผลการศึกษาค่าการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นของวัตถุ

ผลการศึกษาค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นทดสอบแสดงในภาพที่ 5.9 พบว่า เมื่อปริมาณเยื่อกระดาษเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มสูงขึ้น อาจเนื่องมากจากสองประเด็นหลักคือ เยื่อกระดาษเป็นวัตถุดิบมีเซลลูโลสที่ดูดซึมน้ำได้สูง และเมื่อนำเยื่อกระดาษที่มีเยื่อเส้นใยที่สั้นเมื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมจะเรียงตัวได้ยากทำให้เกิดช่องว่างอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก จึงทำให้มีการดูดซึมน้ำได้เพิ่มขึ้น

ค่าการดูดซึมน้ำของอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบจากดินลูกรัง (SP1-SP4) มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมากกว่าอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบจากทราย (SP5-SP8) อาจเนื่องอัตราส่วนผสมจากดินลูกรังเป็นวัตถุดิบมีเนื้อดินที่ดูดซึมน้ำได้มากกว่าอัตราส่วนผสมจากทราย



ภาพที่ 5.9 แสดงค่าการดูดซึมน้ำกับปริมาณเยื่อกระดาษ



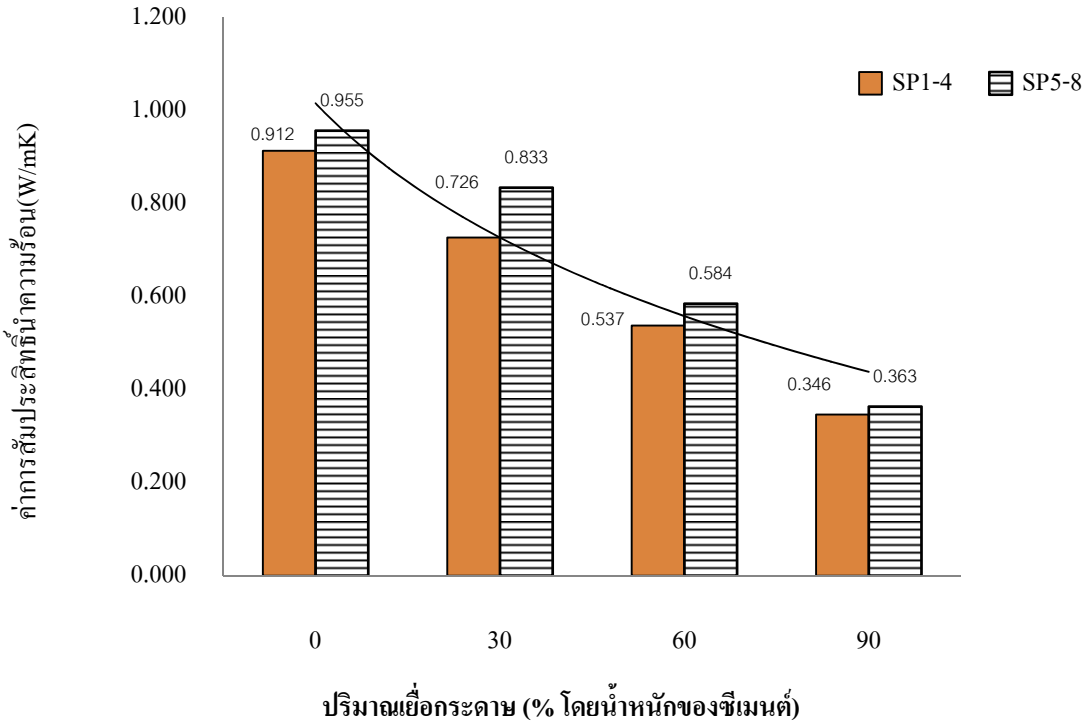
ภาพที่ 5.10 แสดงค่าการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ

เมื่อนำค่าการดูดซึมน้ำกับค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบมาพิจารณาดังภาพที่ 5.10 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นต่ำลงแต่ปริมาตรเท่าเดิมนั้นอาจเป็นไปได้ว่ามีโพรงอากาศขนาดเล็กๆเพิ่มขึ้นจำนวนมากจึงทำให้ความหนาแน่นต่ำ โดยที่โพรงอากาศเหล่านี้ดูดซึมและกักเก็บน้ำไว้จึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำแปรผกผันกับความหนาแน่นของวัสดุ

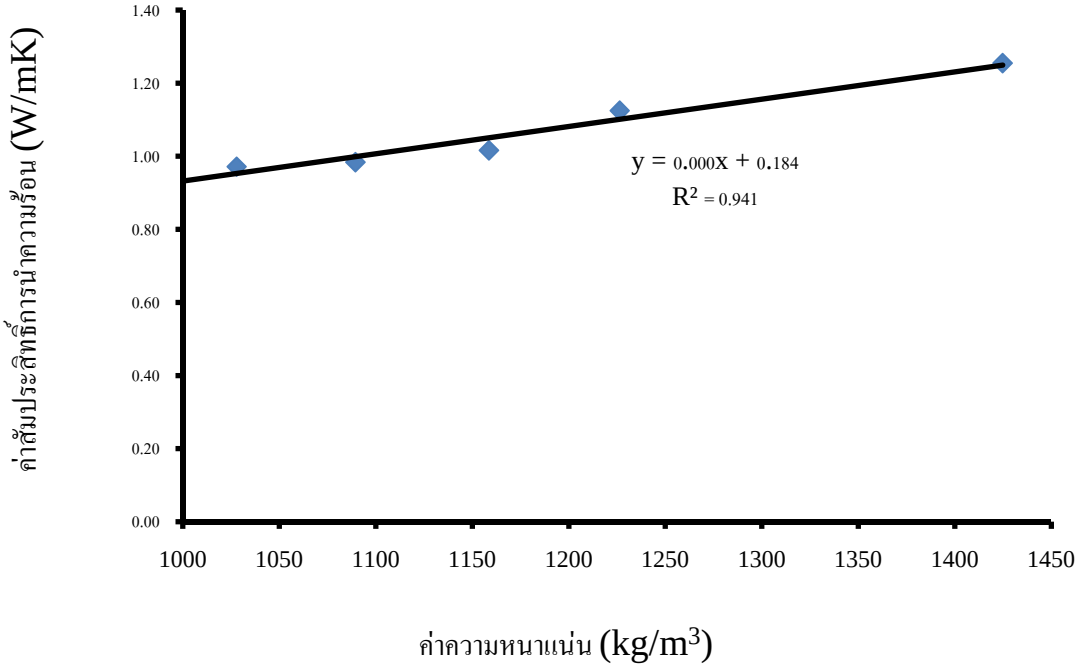
5.6 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและความหนาแน่นของวัตถุ

แสดงผลดังภาพที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราส่วนผสมของเยื่อกระดาษเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะต่ำลง เนื่องมาจากวัตถุดิบเยื่อกระดาษที่มีสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี เมื่อเพิ่มเยื่อกระดาษจึงทำให้ประสิทธิภาพการนำความร้อนของวัสดุต่ำลง

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบดินลูกรัง (SP1-SP4) มีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบทราย (SP5-SP8) อาจเนื่องมาจากทรายเป็นวัสดุที่มีสมบัติการนำความร้อนได้ดีกว่าดินลูกรัง เพราะว่าทรายมีความหนาแน่นของมวลที่สูงกว่าจึงทำให้การถ่ายเทความร้อนได้ดี



ภาพที่ 5.11 แสดงค่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และปริมาณเยื่อกระดาษ



ภาพที่ 5.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่น

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k) กับค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบมาพิจารณา ดังภาพที่ 5.12 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k) เพิ่มขึ้นตามค่าความหนาแน่น เนื่องมาจากผลของการเพิ่มเยื่อกระดาษที่เป็นฉนวนกันความร้อนและมีน้ำหนักเบาส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ลดลง และมีความหนาแน่นของชิ้นทดสอบลดลง จึงสมารถสรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) แปรผันตามค่าความหนาแน่นของวัสดุ

5.7 ผลการผลิตบล็อกก่อสร้างต้นแบบและการเปรียบเทียบสมบัติ

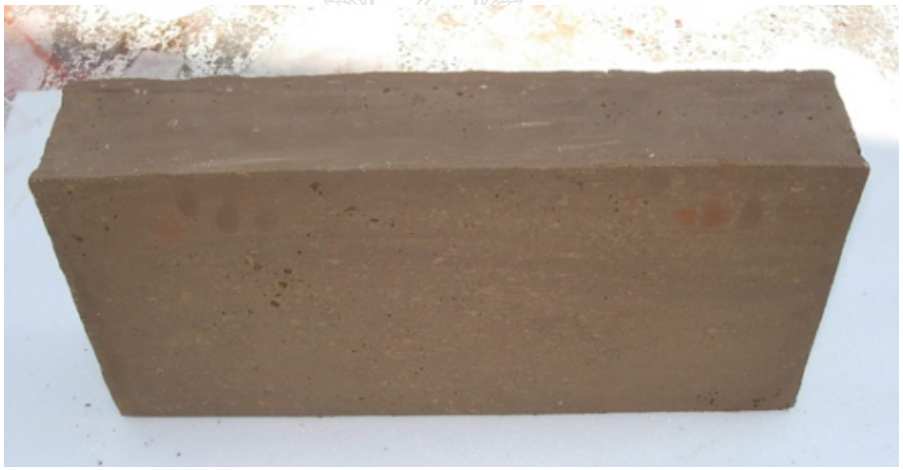
เมื่อนำอัตราส่วนที่เหมาะสมมาผลิตเป็นบล็อกก่อสร้างต้นแบบ และนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางการนำความร้อน จำนวนอย่างละ 5 ชิ้นทดสอบเปรียบเทียบกับวัสดุก่อสร้างที่จำหน่ายในท้องตลาด ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงสมบัติของวัสดุก่อสร้างต้นแบบและวัสดุก่อสร้างในท้องตลาด

ชนิดของวัสดุ	รายการ	น้ำหนักต่อหน่วย (Kg)	ความหนาแน่น (Kg/m^3)	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/mK)	ค่าการรับแรงอัด (kg/cm^2)	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)
บล็อกมาตรฐาน (19x39x7.5)	SP2	6.68	1113.40	0.883	34.92	21.64
	SP6	7.58	1264.09	0.929	39.66	19.99
บล็อกประสานอัดโดยเครื่องอัดมือโยก (12.5x25x10cm)	SP1	5.63	1913.40	1.481	79.79	14.44
	SP2	4.05	1373.77	0.974	58.84	19.05
	SP6	4.37	1482.20	1.042	68.60	17.52
บล็อกประสานไม่ใช้เครื่องอัด	SP6	3.72	1262.78	0.917	33.68	20.46
อิฐมอญ (7x16x3.5cm)	ทั่วไป	0.65	1669.24	0.877	35.18	19.22
คอนกรีตบล็อกกลวง (19x39x7.5cm)	ทั่วไป	3.62	2411.89	0.515	26.91	22.38
คอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ (19x39x7.5cm)	ทั่วไป	3.85	642.13	0.191	36.66	28.96

5.7.1 สมบัติของบล็อกก่อสร้างแบบทึบต้นแบบ

เมื่อนำอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมจำนวนสองสูตรมาผลิตบล็อกสี่เหลี่ยมมาตรฐานขนาด 19x39x75. ซม. บล็อกที่ผลิตจากส่วนผสมของดินลูกรัง SP2 ที่อัตราส่วนผสม 1:5:0.3 (ซีเมนต์:ดินลูกรัง:เยื่อกระดาษ) พบว่ามันน่าสนใจในการนำมาใช้เป็นบล็อกตกแต่งที่ได้ลักษณะสีน้ำตาลเทาเป็นธรรมชาติ ดังภาพที่ 5.13 สมบัติค่าการรับแรงอัด 34.92 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร, ความหนาแน่นที่ 1113.40 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร,ค่าการดูดซึมน้ำ 21.64% ,ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.883 วัตต์ / เมตร องศาเคลวิน จะเห็นได้ว่าเมื่อนำอัตราส่วนผสมมาผลิตจริงมีสมบัติเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ค่าการรับแรงอัดดีขึ้น ความหนาแน่นมากขึ้น การดูดซึมน้ำลดลง และ ค่าการสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อนำอัตราส่วนผสมที่ถูกพิจารณามาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างต้นแบบด้วยขนาดชิ้นงานเท่าขนาดจริงที่มีขนาดใหญ่กว่าชิ้นทดสอบจึงทำให้ส่วนผสมถูกกดทับกันมากขึ้น ส่งผลให้ความความหนาแน่นสูงขึ้นจึงส่งผลต่อสมบัติการรับแรงอัดดีขึ้น การนำความร้อนสูงขึ้น และทำให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำลง



ภาพที่ 5.13 แสดงลักษณะของบล็อกต้นแบบ SP2 จากส่วนผสมของดินลูกรังผสมเยื่อกระดาษ

บล็อกที่ผลิตจากส่วนผสมของทราย SP6 ที่อัตราส่วนผสม 1:5:0.02:0.3 (ซีเมนต์:ทราย:ผงสี:เยื่อกระดาษ) ดังภาพที่ 5.14 พบว่าบล็อกนี้มีสีที่แดงสดกว่าบล็อกที่มีส่วนผสมของดินลูกรัง และเป็นที่น่าสนใจในการผลิตเป็นบล็อกสีต่างๆได้โดยการเติมผงสีลงไป ซึ่งจะทำให้นักออกแบบสามารถรังสรรค์ผลงานได้หลากหลายมากขึ้น ผลการทดสอบพบว่าสมบัติค่าการรับแรงอัด 39.66

กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร, ความหนาแน่นที่ 1264.09 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, ค่าการดูดซึมน้ำ 19.99 % ,ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.929 วัตต์ / เมตร องศาเคลวิน

ภาพที่ 5.14 ลักษณะของบล็อกต้นแบบ SP6 ที่มีส่วนผสมของทรายและผงสีผสมเยื่อกระดาษ

5.7.2 สมบัติของบล็อกประสานแบบกลวงต้นแบบ

เมื่อนำอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมจำนวนสองสูตรมาผลิตบล็อกประสานกลวงขนาด 12.5x25x10 ซม. บล็อกที่ผลิตจากส่วนผสมของดินลูกรัง SP2 ที่อัตราส่วนผสม 1:5:0.3 (ซีเมนต์:ดินลูกรัง:เยื่อกระดาษ) มาผลิตด้วยการอัดด้วยเครื่องอัดแบบมือโยก (Cinva-Ram) ด้วยแรงอัดประมาณ 1.0 M n/m^2 ผลการทดสอบพบว่าสมบัติค่าการรับแรงอัด 58.84 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร, ความหนาแน่นที่ 1373.77 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, ค่าการดูดซึมน้ำ 19.05% ,ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.974 วัตต์ / เมตร องศาเคลวิน

บล็อกที่ผลิตจากส่วนผสมของทราย SP6 ที่อัตราส่วนผสม 1:5:0.02:0.3 (ซีเมนต์:ดินทราย:ผงสี:เยื่อกระดาษ) มาผลิตด้วยการอัดด้วยเครื่องอัดแบบมือโยก (Cinva-Ram) ด้วยแรงอัดประมาณ 1.0 M n/m^2 ผลการทดสอบพบว่าสมบัติค่าการรับแรงอัด 68.60 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร, ความหนาแน่นที่ 1482.20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, ค่าการดูดซึมน้ำ 17.52% ,ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 1.042 วัตต์ / เมตร องศาเคลวิน เมื่อพิจารณาสมบัติของบล็อกประสานที่ผลิตทั้ง SP2 และ SP3 ที่ใช้เครื่องอัดมือโยกจะส่งผลให้มีค่าการรับแรงอัดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มอก.57-2530 ที่กำหนดค่ากำลังอัดต้องไม่ต่ำกว่า 70 กก./ซม^2 แต่มีค่าการรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.

58-2530 บล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนัก (Non load bearing concrete Unit) และ มผช.602/2547 ชนิดไม่รับน้ำหนัก

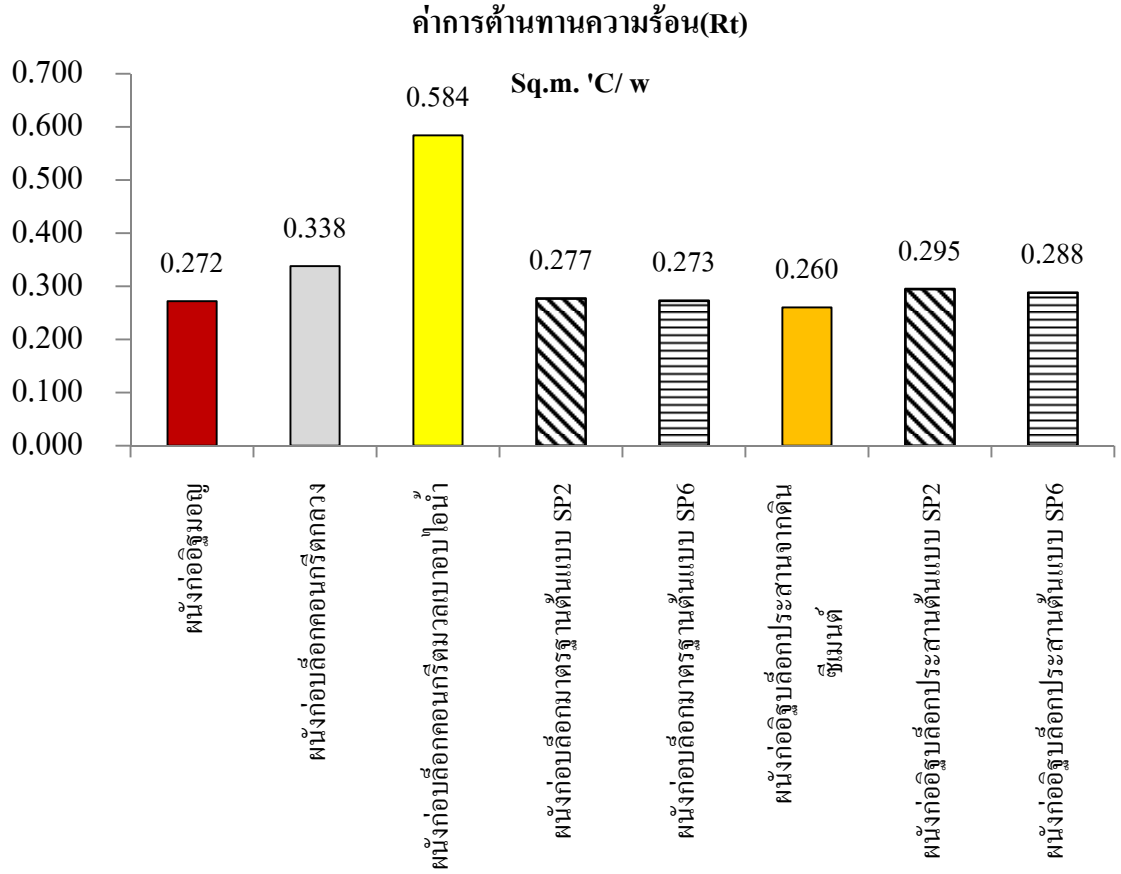
บล็อกที่ผลิตจากส่วนผสมของทราย SP6 ที่อัตราส่วนผสม 1:5:0.02:0.3 (ซีเมนต์:ทราย:ผงสี:เยื่อกระดาษ) มาผลิตแบบไม่ใช้เครื่องอัดแบบมือโยก พบว่าสมบัติค่าการรับแรงอัด 33.68 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร, ความหนาแน่นที่ 1296.78 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, ค่าการดูดซึมน้ำ 20.46% ,ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.917 วัตต์ / เมตร องศาเคลวิน เมื่อพิจารณากรรมวิธีการผลิตที่ไม่ใช้เครื่องอัดมือโยก ค่าการรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานมอก. 58-2530 บล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนักและ มผช.602/2547 ชนิดไม่รับน้ำหนัก

จากการใช้เครื่องอัดแบบมือโยกในการผลิตบล็อกประสานจะทำให้มีสมบัติของวัสดุเปลี่ยนแปลงคือ วัสดุมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น 14.8% มีค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น 12% ค่าการรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่น และมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำลง

ภาพที่ 5.15 บล็อกประสานต้นแบบ SP2 ที่มีส่วนผสมของดินลูกรังสีผสมเยื่อกระดาษ

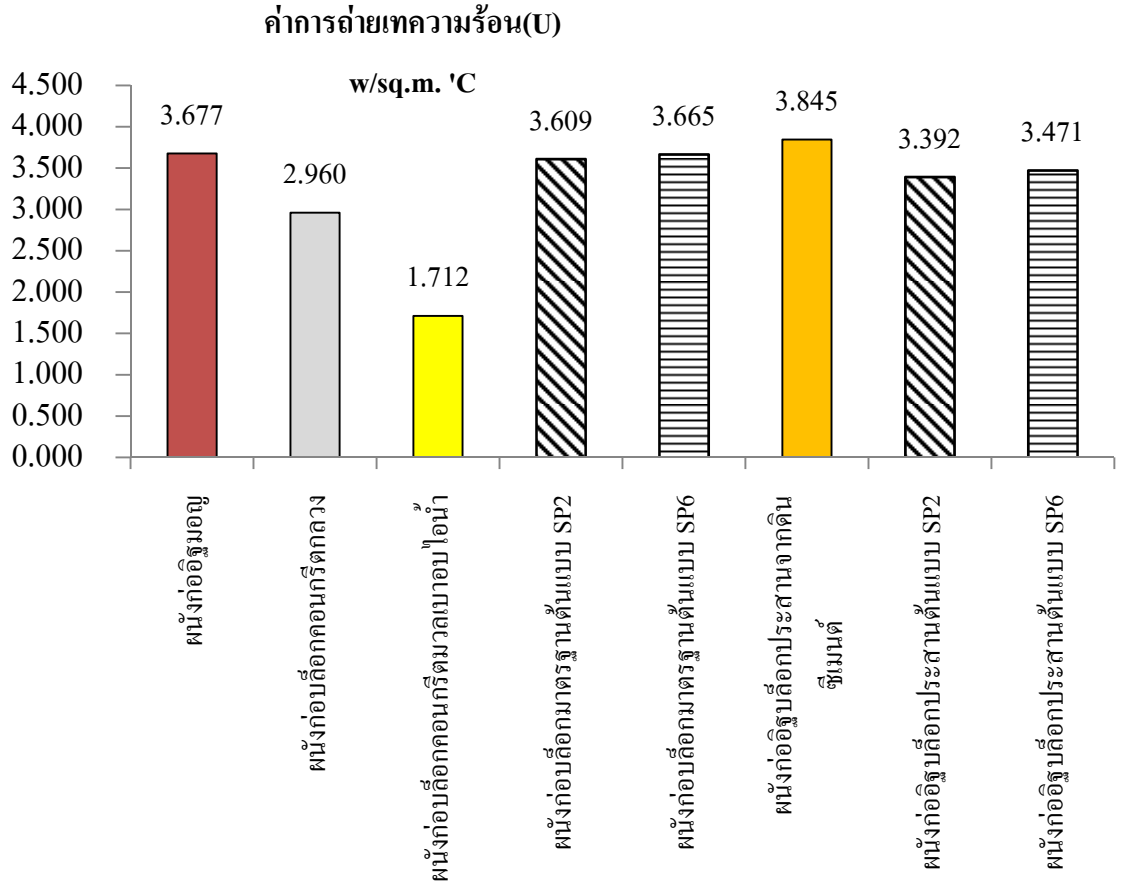
ภาพที่ 5.16 บล็อกประสานต้นแบบ SP6 ที่มีส่วนผสมของทรายและผงสีผสมเยื่อกระดาษ

5.7.3 การเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนเมื่อนำมาใช้ประกอบผนัง



ภาพที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าการต้านทานความร้อนรวมของผนังก่อ

เมื่อนำวัสดุก่อสร้างที่ผลิตมาทำการวิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานก่อสร้างผนัง โดยคำนวณหาค่าการต้านทานความร้อนรวมของผนังที่ก่อฉาบผนังเพียงด้านเดียว ส่วนอีกด้านเป็นส่วนแสดงพื้นผิวของวัตถุ โดยนำวัสดุต้นแบบและวัสดุที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมาศึกษาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าบล็อกก่อมาตรฐานต้นแบบ SP2 และ SP6 ดังภาพที่ 5.17 มีค่าการต้านทานความร้อนรวมได้ดีกว่า ผนังก่ออิฐมอญ และผนังก่ออิฐประสานจากดินผสมซีเมนต์เดิม แต่ค่าการต้านทานความร้อนก็ยังต่ำกว่าผนังบล็อกคอนกรีตมวลเบาชนิดอบไอน้ำที่จำหน่ายในท้องตลาด แม้มันจะไม่ดีเท่ากับบล็อกคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ แต่บล็อกต้นแบบที่ศึกษาก็มีจุดเด่นที่ใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าและช่วยลดมลภาวะด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้เยื่อกระดาษเหลือทิ้งจากโรงงานกระดาษที่ส่วนมากจะนำไปเผาหรือฝังกลบ



ภาพที่ 5.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังก่อ

ค่าการสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อน(U) แสดงในภาพที่ 5.18 พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังก่อบล็อกต้นแบบทั้ง SP2 และ SP6 ที่ดีกว่าผนังก่อด้วยอิฐมอญ บล็อกประสานดินผสมซีเมนต์

จากผลของการประเมินแสดงให้เห็นว่าบล็อกก่อสร้างต้นแบบทั้ง SP2 และ SP6 มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญ และบล็อกประสานจากดินลูกรังผสมซีเมนต์แบบเดิม โดยผู้วิจัยเสนออัตราส่วนผสมของ SP6 ในการนำมาใช้ในการผลิตบล็อกก่อสร้างที่มีสีสันที่แตกต่างจากเดิม และมีสมบัติที่ดี คือ มีน้ำหนักเบาช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งวัสดุ และลดภาระการรับน้ำหนักของโครงสร้าง, มีค่าการต้านทานความร้อนสูงช่วยลดการถ่ายเทความร้อนขึ้นสู่ภายในอาคาร ทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำความเย็นในอาคารต่ำลงและการทำให้ผู้อยู่อาศัยภายในอาคารลดภาระการทำความเย็น

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการนำเยื่อกระดาษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษ มาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างและวัสดุตกแต่ง เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง แทนที่ต้องนำไปฝังกลบหรือเผาทำลาย ผลการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- เยื่อกระดาษเหลือทิ้ง สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผสมมวลน้ำหนักเบาได้ ด้วยลักษณะเส้นใยที่สั้นและเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ เมื่อนำมาเป็นส่วนผสมจะทำให้มีการพองตัวของเยื่อและทำให้เกิดช่องอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก
- เมื่อนำเยื่อกระดาษเหลือทิ้งไปทดสอบสารโลหะนักปนเปื้อน 5 ชนิด โครเมียม, แคดเมียม, ปรอท, ตะกั่ว และสารหนู พบว่ามีอยู่ในปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แต่ทั้งนี้ผู้วิจัยนำแนะให้ใช้วัสดุก่อสร้างนี้ภายนอกอาคาร หรือในพื้นที่โล่งแจ้ง
- วัสดุผสมที่มีปริมาณเยื่อกระดาษเหลือทิ้งเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและมีค่าความหนาแน่นต่ำลง แต่มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น และมีค่าการรับแรงอัดต่ำลงเช่นกัน
- การจากการใช้วัตถุดิบเดิมจากดินลูกรัง เปรียบเทียบกับการใช้ทรายผสมผงสี พบว่าการใช้ดินลูกรังเป็นวัตถุดิบจะได้สีเนื้อวัสดุสีน้ำตาลแดงสีเดียว เมื่อผสมเยื่อกระดาษเพิ่มขึ้นสีของเนื้อวัสดุจะมีความเข้มลดลง แต่การใช้ทรายผสมผงสีเป็นวัตถุดิบทดแทนจะทำให้มีสีเนื้อวัสดุเป็นสีแดงสดกว่า และจะมีประสิทธิภาพในการรับแรงอัดได้ดีกว่า การดูดซึมน้ำได้น้อยกว่า
- อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำใช้ใช้ในการผลิตคือ อัตราส่วน(SP6) 1:5:0.02:0.3 (ซีเมนต์:ดินทราย:ผงสี:เยื่อกระดาษ)
    - เมื่อนำมาผลิตบล็อกก่อสร้างและตกแต่งต้นแบบขนาด 19x39x7.5 ซม.จะมีสมบัติความหนาแน่นที่ 1264.09 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, ค่าการดูดซึมน้ำ 19.99 % ,ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.929 วัตต์ / เมตร องศาเคลวิน และค่าการรับแรงอัด

39.66 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 58-2530 บล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนัก (Non load bearing concrete Unit)

- เมื่อนำมาผลิตบล็อกประสานขนาด12.5x25x10 ซม. โดยทำการอัดด้วยเครื่องอัด (Cinva-Ram) ด้วยแรงอัดประมาณ 1.0 M n/m^2 จะได้สมบัติความหนาแน่นที่ 1482.20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, ค่าการดูดซึมน้ำ 17.52 % ,ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 1.0424 วัตต์ / เมตร องศาเคลวิน และมีค่าการรับแรงอัด 68.60 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 58-2530 บล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนัก (Non load bearing concrete Unit)
- เมื่อเปรียบเทียบสมบัติบล็อกประสานเดิมจากดินลูกรังผสมซีเมนต์ พบว่าบล็อกประสานจากวัสดุใหม่นี้มีค่าความหนาแน่นลดลง 22.5 % และมีค่าการนำความร้อนต่ำลง 34%

- เมื่อประเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำไปใช้ประกอบเป็นก่อผนังฉาบผิวด้านนอกด้านเดียวผิวภายในโชว์ พบว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนได้ดีกว่าผนังที่ก่อด้วยอิฐมอญ และบล็อกประสานจากดินลูกรังผสมซีเมนต์เดิม

จากสรุปนี้จะเห็นได้ว่าการใช้เยื่อกระดาษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษมาเป็นวัสดุผสมในการผลิตวัสดุก่อสร้างและตกแต่งจึงมีความเป็นไปได้และเป็นที่น่าสนใจในการที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการกำจัด ช่วยลดมลภาวะด้านสิ่งแวดล้อม

6.2 ข้อเสนอแนะ

วัสดุก่อสร้างและตกแต่งนี้เป็นผลการศึกษาเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางในการนำเยื่อกระดาษเหลือทิ้งจากโรงงานกระดาษไปใช้ประโยชน์เป็นวัสดุก่อสร้างซึ่งยังมีปัจจัยที่น่าจะคำนึงถึงเมื่อนำไปใช้งานจริงและต้องทำการศึกษาและพัฒนาต่อไปเช่น สารปนเปื้อนอื่นๆที่ยังไม่ได้วิเคราะห์ อายุการใช้งาน สมบัติการลามไฟ

6.3 ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างที่ได้จากการวิจัย

6.3.1 บล็อกก่อสร้างมวลเบาสำหรับตกแต่ง

สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่งผนังภายใน เช่น ผนังตกแต่งอาคาร ผนังตกแต่งสวน เป็นต้น ที่มีสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน มีน้ำหนักเบา และมีสีสัดหลายหลาก

ภาพที่ 6.1 แสดงลักษณะบล็อกก่อสร้างมวลเบา

6.3.2 บล็อกประสานมวลเบาสำหรับตกแต่ง

สามารถนำไปใช้เป็นบล็อกประสานก่อผนังและตกแต่งภายในอาคาร โดยมีน้ำหนักเบา เป็นฉนวนกันความร้อน มีสีสันหลากหลาย สะดวกในการขนส่ง และสามารถเป็นวัสดุตกแต่งได้ทั้งแบบถาวรและเป็นชั่วคราวในการตกแต่งสวน ฉากกัน เวลาจัดนิทรรศการ สามารถนำไปใช้ในการตกแต่งสวนภายนอกอาคาร เช่น เป็นผนัง เป็นกระบะปลูกต้นไม้ เป็นต้น

ภาพที่ 6.2 แสดงลักษณะบล็อกประสานมวลเบาชนิดใหม่

6.3.3 แผ่นวัสดุตกแต่งมวลเบาผนัง

สามารถนำไปใช้ตกแต่งผนังทั้งภายนอกและภายใน โดยหล่อขึ้นรูปทรงได้หลากหลาย สร้างพื้นผิวและรูปแบบ สีสัน ได้ สมบัติของวัสดุมีน้ำหนักเบา มีค่าความเป็นฉนวนกันความร้อนสูง ราคาถูก

ภาพที่ 6.2 แสดงลักษณะวัสดุตกแต่งผนังมวลเบาชนิดใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] สมบุรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ และ อดิสรณ์ พงษ์สุวรรณ, 2551, “บล็อกประสานผสมตะกอนดินจากน้ำประปา” การประชุมวิชาการ จัดโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 1/2551 หน้า 573-582

[2]พฤกษ์ ตัญตรัยรัตน์ ,2546 “การตกตะกอนโลหะหนักด้วยกากปูนขาวจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ” วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[3]สมิตร ส่งพิริยะกิจ และปริญญา จินดาประเสริฐ ,2549 “การผลิตอิฐมวลเบาจากวัสดุรีไซเคิล” การประชุมวิชาการเทคโนโลยี และนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 586-589.

[4]วุฒินัย กกกำแหง และวิทยา วุฒิจำนงค์ ,2550 “การประยุกต์ใช้ยิปซั่มในการผลิตบล็อกประสาน” วิศวกรโยธา ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

[5]วุฒินัย กกกำแหง และนรา รัตนวงศ์ ,2550 “บล็อกประสานจากหน้าดินขาว” วิศวกรโยธา ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

[6] Khedari, J.et.al.,2001, “ New Lightweight Composite Construction Materials with Low Thermal Conductivity, “ Cement and Concrete Composites, Vol.23, pp.65-70.

[7] Pranee Lertsutthiwong, Srichalia Khunthon, Krisana Siralertmukul, Khanittha Noomun and Suwalee Chandrkrachang.,2006, “New insulating Particleboards prepared from mixture of solid waste from tissue paper manufacturing and corn peel,” Bioresource Technology 99, pp.4841-4845.

[8] Soronshian, P., Shah, Z. and Won, J.P., 1995, “Optimization of Wastepaper Fiber-Cement Composites”, ACI Material Journal, Vol.92,No.1,pp.88-92.

[9] Soronshian, P. and Marikunte, S. and Won, J.P.,1995, “Statistical Evaluation of Mechanical ans Physical Properties of Cellulose Fiber Reinforced Cement Composite”, ACI Material Journal, Vol.92 No.2, PP.172-180.

[10] Soronshian, P., Shah, Z. and Won, J.P., 1996, “Aging Effects on The Structure and Preperties of Recycled Wastepaper Fiber Cement Composites”, Materials and Structure, Vol.29, No.189, PP.312-317.

[11] Lin, X., Silsbce, M.R., Ray, D.M., Wess;or, W. and Blanlanhorn, P.R., 1994, “Approaches to Improve the Properties of Wood Fiber Reinforce Cementitios Composites”, Cement and Concrete Research, Vol.24, No.8 PP.1558-1566.

[12] Poopath V. Soil-cement technology. A key instrument for rural housing development. 1986. P. 343-359.

ภาคผนวก ค

มาตรฐานวัสดุก่อสร้าง

ค.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน อิฐบล็อกประสาน

มผช.602/2547

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะอิฐบล็อกประสานที่มีดินลูกรังและปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหลัก

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 อิฐบล็อกประสาน หมายถึง อิฐบล็อกที่ได้จากการนำดินลูกรัง ผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม อาจผสมวัสดุอื่นๆ เช่น หินฝุ่น ทราย กวนให้เข้ากัน เทลงในแบบพิมพ์ที่มีการออกแบบให้มีรูร่อง และเดือย อัดเป็นก้อน แล้วบ่มให้แข็งตัว

2.2 อิฐบล็อกประสาน ชนิดรับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อเพื่อรับน้ำหนักโครงสร้างอาคารได้เช่น ก่อเสา ก่อผนัง

2.3 อิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังกั้นห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร

3. ชนิด

3.1 อิฐบล็อกประสาน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.1.1 ชนิดรับน้ำหนัก

3.1.2 ชนิดไม่รับน้ำหนัก

4. คุณลักษณะที่ต้องการ

4.1 ลักษณะทั่วไป ต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว อาจบิ่นได้เล็กน้อย

4.2 มิติ ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยแต่ละมิติมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร

4.3 ความต้านแรงอัด

4.3.1 ชนิดรับน้ำหนัก ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 7.0 เมกะพาสคัล

4.3.2 ชนิดไม่รับน้ำหนัก ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล

4.4 การดูดกลืนน้ำ (เฉพาะชนิดรับน้ำหนัก) ต้องเป็นไปตามตารางที่ ก.1

ตารางที่ ค.1 การดูดกลืนน้ำ (ข้อ 4.4)

น้ำหนักอิฐบล็อกประสานเมื่ออบแห้ง กิโลกรัม	การดูดกลืนน้ำสูงสุด เฉลี่ยจากอิฐบล็อกประสาน 5 ก้อน กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
1680 และ น้อยกว่า	288
1681 ถึง 1760	272
1761 ถึง 1840	256
1841 ถึง 1920	240
1921ถึง 2000	224
มากกว่า 2000	208

5. การบรรจุ

5.1 หากมีการบรรจุ ให้บรรจุอิฐบล็อกประสานในภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอิฐบล็อกประสานได้

6. เครื่องหมายและฉลาก

6.1 ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุอิฐบล็อกประสาน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผลิตภัณฑ์

(2) มิติ

(3) เดือน ปีที่ทำ

(4) ข้อแนะนำในการใช้และการดูแลรักษา

(5) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนใน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

7.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

7.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

7.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป มิติ การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 5 ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4.1 ข้อ 4.2 ข้อ 5. และข้อ 6. จึงจะถือว่าอิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความต้านแรงอัด ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ 6.2.1 แล้ว จำนวน 5 ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4.3 จึงจะถือว่าอิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด 7.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบการดูดกลืนน้ำ ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 5 ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4.4 จึงจะถือว่าอิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.3 เกณฑ์ตัดสินตัวอย่างอิฐบล็อกประสานต้องเป็นไปตามข้อ 7.2.1 ข้อ 7.2.2 และข้อ 7.2.3 ทุกข้อ จึงจะถือว่าอิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

8. การทดสอบ

8.1 การทดสอบลักษณะทั่วไป การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ตรวจพินิจ

8.2 การทดสอบมิติให้ใช้เครื่องวัดที่เหมาะสม

8.3 การทดสอบความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ ให้ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. 57และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. 58

ค.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐประดับ

มอก. 168 – 2546

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐประดับนี้ กำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

ASTM C 216–99 Facing Brick (Solid Masonry Units Made From Clay or Shale)

มอก. 243–2520 วิธีชักตัวอย่างและทดสอบอิฐและอิฐกลวง

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดให้ใช้กับอิฐที่ทำจากดิน มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยม ใช้ในงานประดับหรือใช้ทั้งในงานโครงสร้างและงานประดับ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 อิฐประดับ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “อิฐ” หมายถึง อิฐที่ทำขึ้นเป็นพิเศษโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะเผยผึ่งเนื้อหรือผิว ทำจากดิน ดินดาน หรืออาจมีส่วนผสมของวัสดุอื่น ต้องมีการเผาเพื่อให้เกิดความแข็งแรงและความทนทาน มีขนาดและสีต่างๆ มีการแต่งผิว อาจทำเป็นผิวเรียบ ผิวหยาบ หรือมีลวดลาย

2.2 การเผยผึ่ง หมายถึง การเผยผิวต่อลมฟ้าอากาศ ซึ่งมีทั้งแดด ลม ฝน ความชื้น น้ำ และอุณหภูมิ ที่ต่างกันจากสูงสุดถึงต่ำสุดรวมทั้งการสัมผัสกับดินเมื่อก่อใต้ระดับพื้นดินหรือก่อบนดิน

2.3 การขัดผิว หมายถึง กรรมวิธีอย่างหนึ่งในการแต่งผิวอิฐประดับเพื่อให้สีและเนื้ออิฐดูสวยงามขึ้น

2.4 การหลอมผิว หมายถึง กรรมวิธีอย่างหนึ่งในการทำผิวอิฐประดับโดยทำให้เกิดการหลอมตัวที่ผิวมีลักษณะเป็นชั้นบางๆ มีลวดลายและสีต่างๆ กัน

2.5 ผิวเรียบ หมายถึง ผิวที่ออกจากแม่พิมพ์โดยตลอด

2.6 ผิวหยาบ หมายถึง ผิวที่ทำขึ้น เช่น ผิวทราย ผิวรอยหวี ผิวร่องหรือผิวเรียบที่ออกจากแม่พิมพ์แล้วทำให้หยาบโดยวิธีกล เช่นตัดด้วยลวดหรือแปรงด้วยแปรงลวด

2.7 รอยด่าง หมายถึง คราบสีขาวคล้ายขี้เกลือ

2.8 ผิวเผย หมายถึง ด้านของอิฐที่สัมผัสกับลมฟ้าอากาศ

3. ประเภท ชั้นคุณภาพ และสัญลักษณ์

3.1 อิฐประดับ แบ่งตามเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาดตามตารางที่ 1 ออกเป็น 2 ประเภท คือ

3.1.1 ประเภท 1 ใช้สัญลักษณ์ 1

3.1.2 ประเภท 2 ใช้สัญลักษณ์ 2 แบ่งตามตารางที่ 5 ออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.1.2.1 ชนิดผิวเรียบ

3.1.2.2 ชนิดผิวหยาบ

3.2 อิฐประดับ แบ่งตามความต้านแรงอัดต่ำสุดและการดูดกลืนน้ำสูงสุดออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ

3.2.1 ชั้นคุณภาพ ก ใช้สัญลักษณ์ ก

3.2.2 ชั้นคุณภาพ ข ใช้สัญลักษณ์ ข

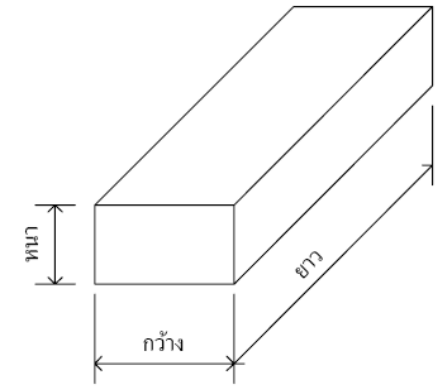
4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 ขนาดของอิฐประดับ

มิติของอิฐประดับให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบ (drawing) ของผู้ทำ โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ตามตารางที่ ก.2 การทดสอบให้ปฏิบัติตามมอก. 243

ตารางที่ ค.2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมิติ

(ข้อ 4.1)



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

มิติ	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	
	ประเภท 1	ประเภท 2
ไม่เกิน 75	± 1.5	± 2.5
เกิน 75 ถึง 100	± 2.5	± 3.0
เกิน 100 ถึง 150	± 3.0	± 5.0
เกิน 150 ถึง 200	± 4.0	± 6.5
เกิน 200 ถึง 300	± 5.5	± 8.0
เกิน 300 ถึง 400	± 7.0	± 9.5

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

5.1.1 อิฐต้องปราศจากข้อบกพร่องที่เป็นอุปสรรคต่อการก่ออิฐอย่างถูกต้องหรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียกำลังหรือความคงทนถาวร

5.1.2 ผิวของอิฐต้องไม่เคลือบสี นอกจากขัดผิวหรือหลอมผิวบริเวณผิวเผย การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

5.2 ความบิดเบี้ยว ให้เป็นไปตามตารางที่ ก.3 การทดสอบให้ปฏิบัติตามมอก.243

ตารางที่ ค.3 ความบิดเบี้ยว

(ข้อ 5.2)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

มิติ	**ความบิดเบี้ยว สูงสุด**	
	ประเภท 1	**ประเภท 2**
ไม่เกิน 200	1.5	2.5
เกิน 200 ถึง 300	2.5	3.0
เกิน 300 ถึง 400	3.0	4.0

5.3 ความเบี่ยงเบนจากความได้ฉาก ให้เป็นไปตามตารางที่ ก.4 การทดสอบให้ทำโดยใช้เหล็กฉากวางประชิดมุมของอิฐ และให้ด้านประกอบมุมของอิฐด้านใดด้านหนึ่งประชิดและขนานกับเหล็กฉาก แล้ววัดระยะเบี่ยงเบนของอิฐที่เบี่ยงเบนไปจากเส้นตรงที่ทำมุมฉากกับด้านประชิด ณ จุดปลายสุดของอิฐ แล้วรายงานความเบี่ยงเบนโดยใช้ค่าสูงสุด

ตารางที่ ค.4 ความเบี่ยงเบนจากความได้ฉาก

(ข้อ 5.3)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ประเภท	ความเบี่ยงเบนจากความได้ฉาก สูงสุด
1	2.5
2	3.0

5.4 ความต้านแรงอัด ให้เป็นไปตามตารางที่ ค.5 การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก.243

5.5 การดูดกลืนน้ำ ให้เป็นไปตามตารางที่ ค.5 การทดสอบให้ปฏิบัติตามมอก.243

ตารางที่ ค.5 ความต้านแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ

(ข้อ 5.4 และข้อ 5.5)

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงอัดต่ำสุด MPa		การดูดกลืนน้ำสูงสุด %	
	เฉลี่ย 5 ก้อน	อิฐแต่ละก้อน	เฉลี่ย 5 ก้อน	อิฐแต่ละก้อน
ก	21.0	17.0	17.0	20.0
ข	17.0	15.0	22.0	25.0

5.6 รอยด่าง เมื่อทดสอบตามมอก.243 ที่ระยะ 3 เมตรในภาวะการส่องสว่างไม่น้อยกว่า 540 ลูเมนต่อตารางเมตร โดยผู้มีสายตาปกติ แล้วต้องไม่มีรอยด่าง

5.7 รู อิฐที่มีรู พื้นที่ภาคตัดขวางสุทธิ (net cross-section) ของอิฐที่ระนาบใดๆ ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่ภาคตัดขวางรวบยอด (gross cross-section) ที่ระนาบเดียวกัน และส่วนใดส่วนหนึ่งของรูจะต้องอยู่ห่างจากขอบของก้อนไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร การทดสอบทำโดยการวัดด้วยเครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

5.8 ราง ถ้าอิฐมีรางลึกเกิน 10 มิลลิเมตร พื้นที่ภาคตัดขวางสุทธิ (net cross-section) ของอิฐที่ระนาบใดๆ ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่ภาคตัดขวางรวบยอด (gross cross-section) ที่ระนาบเดียวกัน และส่วนใดส่วนหนึ่งของรางจะต้องอยู่ห่างจากขอบของก้อนไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร การทดสอบทำโดยการวัดด้วยเครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

5.9 รอยกะเทาะ อิฐต้องไม่มีรอยกะเทาะเกินกว่าขีดจำกัดที่ให้ไว้ในตารางที่ ก.6 และความยาวรวมของรอยกะเทาะจะต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของเส้นรอบรูปของผิวเผยของอิฐ การทดสอบทำโดยการวัดด้านที่เป็นผิวเผยทั้ง 2 ด้าน ด้วยเครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

ตารางที่ ค.6 รอยกะเทาะ

(ข้อ 3.1.2 และข้อ 5.9)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รอยกะเทาะสูงสุด	ประเภทของอิฐ		
	1	2	
		ชนิดผิวเรียบ	ชนิดผิวหยาบ
วัดจากขอบ	3	6	8
วัดที่มุม	6	9	12

6. เครื่องหมายและฉลาก

6.1 ให้ทำเครื่องหมายและฉลากตามข้อ 6.1.1 หรือข้อ 6.1.2 ดังต่อไปนี้

6.1.1 ในกรณีที่ไม่มีการผูก/มัดอิฐเข้าเป็นหน่วยเดียวกัน ที่กองอิฐทุกกองอย่างน้อยต้องมีเอกสารกำกับแสดงเลขอักษรหรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ประเภท ชนิดและชั้นคุณภาพ

(2) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

6.1.2 ในกรณีที่มีการผูก/มัดอิฐเข้าด้วยกันเป็นหน่วยเดียวกัน และแต่ละหน่วยต้องขนย้ายได้ทั้งหน่วยโดยไม่

แยกจากกัน ให้ทำเครื่องหมายและฉลากตามข้อ 6.1.2.1และข้อ 6.1.2.2 ดังต่อไปนี้

6.1.2.1 ที่แถบวัสดุที่ใช้ผูก/มัดเข้าด้วยกัน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ประเภท ชนิดและชั้นคุณภาพ

(2) ความยาว x ความกว้าง x ความหนา เป็นมิลลิเมตร x มิลลิเมตร x มิลลิเมตร

(3) จำนวน

(4) รหัสรุ่นที่ทำ

(5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

6.1.2.2 ที่อิฐซึ่งอยู่ด้านข้างทุกด้าน อย่างน้อย 1 ก้อน จะต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียด ต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ประเภท ชนิดและชั้นคุณภาพ

(2) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

6.2 ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

7.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินตาม

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 7.1)

ก.1 รุ่น ในที่นี้หมายถึง อิฐประดับ ประเภท ชั้นคุณภาพ และขนาดเดียวกันที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

ก.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.2.1 การชักตัวอย่าง ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 10 ก้อน จากทุกๆ 250 000 ก้อน หรือเศษของ250 000 ก้อน

ก.2.2 เกณฑ์ตัดสิน ตัวอย่างอิฐประดับต้องเป็นไปตามข้อ 4. และข้อ 5. จึงจะถือว่า อิฐประดับรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ในกรณีที่มีตัวอย่างใดไม่เป็นไปตามข้อ 4. ข้อ 5.1 ถึง ข้อ 5.9 รายการใดรายการหนึ่งให้ชักตัวอย่างจากรุ่นเดียวกันจำนวน 2 ชุดตัวอย่างมาทดสอบซ้ำในรายการนั้น ผลการทดสอบซ้ำตัวอย่างทั้ง 2 ชุดตัวอย่าง ต้องเป็นไปตามข้อ 4. ข้อ 5.1 ถึง ข้อ 5.9 แล้วแต่กรณีจึงจะถือว่าอิฐประดับรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ภาคผนวก ข

(ร่าง) ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับ แผ่นอัดสำหรับงานอาคาร ตกแต่ง และอุตสาหกรรมเครื่องเรือน (Panels for the Building, Decorating and Furniture Industry)

ข.1 เหตุผล

ปัจจุบันได้มีการนำชิ้น/เส้นใยจากพืช/ไม้โตเร็ว/ไม้ขนาดเล็ก/ไม้สวนป่ามาใช้ประโยชน์ทำเป็นแผ่นอัดสำหรับงานอาคาร ตกแต่ง และอุตสาหกรรมเครื่องเรือน ซึ่งเป็น สินค้าที่ มีคุณค่าและเป็นที่ต้องการของตลาดเพื่อทดแทนการใช้ไม้ จากป่าธรรมชาติ เพื่อที่จะกระตุ้นให้ผู้ ผลิต/ผู้บริโภคให้ความสนใจในความสำคัญในการอนุรักษ์ สิ่งแวดล้อมทรัพยากรธรรมชาติและป่าไม้ มากขึ้น โดยเฉพาะในปัจจุบันได้เกิดภาวะโลกร้อนอันเกิดมาจากการทำลายสิ่งแวดล้อม ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการผลักดันให้เกิดการแข่งขันระหว่างผู้ผลิตในการที่จะยกระดับเทคโนโลยี การผลิต โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันจะเป็นการก่อให้เกิดประโยชน์ สูงสุดแก่ มนุษย์และ สังคมอีกทางหนึ่ง

การส่งเสริมให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นอัดสำหรับงานอาคารตกแต่งและอุตสาหกรรมเครื่องเรือนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยออกข้อกำหนดฉลากเขียวสืบเนื่อง จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น นับเป็นหนทางหนึ่งในการลดการใช้ทรัพยากรป่าไม้จากธรรมชาติ ส่งเสริมให้เกิดการใช้วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร/พืช/กระบวนการผลิต รวมทั้งการใช้ ไม้โตเร็ว/ไม้ขนาดเล็ก/ไม้สวนป่า ซึ่งจะทำให้มี การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมซึ่งจะก่อให้เกิดการจัดการป่าไม้ อย่างยั่งยืน ตลอดจนคำนึงถึงผลกระทบและแนวทางในการลดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และคุณภาพสิ่งแวดล้อม ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วยช่วงก่อนการผลิต ช่วงระหว่างผลิต ช่วงการขนส่ง ช่วงการใช้งาน และช่วงการทิ้งหลังใช้งาน

ข.2 ขอบเขต

แผ่นอัดสำหรับงานอาคาร ตกแต่ง และอุตสาหกรรมเครื่องเรือน ที่ทำจากไม้และ/หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส ในที่นี้ครอบคลุมถึง แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นสูง (high density fibre boards : HDF) แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (medium density fibreboard: MDF) แผ่นชิ้นไม้อัด (particleboard) แผ่นไม้อัด (plywood) และแผ่นเทอร์โมเซตติงแลมิเนตประเภทใช้งานหนัก (heavy duty: HD) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุ ก่อสร้าง งานตกแต่ ง การผลิตเครื่องเรือน ในที่นี้ ครอบคลุมถึงแผ่นอัดที่ใช้วัสดุปิดผิวที่ทำมาจากพลาสติกกลุ่มเทอร์โมเซตติง กระดาษ ไม้บาง

ข.3 บทนิยาม

แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นสูง (high density fibreboard: HDF) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากใยของไม้ หรือใยของวัสดุลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic material) โดยการอัดร้อนหรือให้ความร้อนเพื่อให้ใยไม้ ติดกันเป็นแผ่น มีการใช้สารยึดติดหรือไม่ใช้กาวเป็นส่วนประกอบ โดยมี ความหนาแน่ นของผลิตภัณฑ์ มากกว่า 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (medium density fibreboard: MDF) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากใยของไม้ หรือใยของวัสดุลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic material) โดยการอัดร้อนหรือให้ความร้อนเพื่อให้ใยไม้ติดกันเป็นแผ่น มี การใช้กาวหรือไม่ใช้กาวเป็นส่วนประกอบ โดยมีความหนาแน่นของ ผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 400-800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (flat pressed particleboard) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่น ทำจากชิ้นไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic material) อัด ในเครื่องอัดร้อนให้ยึดติดกันด้วยกาว ให้ทิศทางของแรงอัดตั้งฉากกับระนาบของแผ่ น แผ่นชิ้นไม้อัดอาจทำให้มีลักษณะโครงสร้างเป็นชั้นเดียว สามชั้น หลายชั้น หรือโครงสร้างที่มีชิ้นไม้ขนาดลดหลั่นกันก็ได้ มีความหนาแน่นอยู่ใช่วง 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถึง 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดกระทุ้ง (extrude particleboard) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่น ทำจากชิ้นไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic material) กับ กาวโดยวิธีอัดกระทุ้งผ่านแบบออกมา ทำให้ยึดติดกันด้วยความร้อน ชิ้นไม้ส่วนใหญ่จะถูกอัดให้นอนตัวไปตามแนวตั้งฉากกับการอัดกระทุ้งแล้วนำไปปิดทับหน้า ด้วยแผ่นไม้บางหรือวัสดุอื่นๆ แผ่นชิ้นไม้อัดอาจทำเป็น แบบตัน (solid) หรือแบบกลวง (tubular) ซึ่งมีรูกลวงหลายรูเรียงขนานกันอยู่ในเนื้อตลอดความยาวของ แผ่น ก็ได้ มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถึง 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

แผ่นไม้อัด (plywood) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำไม้บางหลายแผ่นมาประกอบอั ดยึดให้ติดกันด้วยกาว ลักษณะสำคัญคือ ประกอบด้วยไม้บางตั้งแต่สาม ชั้นขึ้นไป โดยชั้นที่ติดกันมีแนวเสี้ยนขวางตั้งฉากกันเพื่อเพิ่มสมบัติทางความแข็งแรง และลดการขยายตัวหรือหดตัวในแนวระนาบของแผ่นให้น้อยที่สุด

แผ่นเทอร์โมเซตติงแลมิเนต หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแผ่นเส้นใย เช่น กระดาษ ชุบด้วยเทอร์โมเซตติงเรซิน มาซ้อนและทำให้ติดกันโดยใช้ความร้อนและ ความดันไม่น้อยกว่า 5 เมกะพาส

คัล มีชั้นนอกเป็นสีหรือลวดลาย ด้านเดียว หรือ สองด้าน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ใช้งานหนัก (heavy duty: HD) ใช้ งานทั่วไป (horizontal general purpose) และใช้งานเบา (vertical light duty)

แผ่นไม้อัดเคลือบพลาสติกสำหรับแบบหล่อคอนกรี ต หมายถึง ผลิตภัณฑ์ ที่ ได้จากการนำแผ่นไม้อัดมาเคลือบด้วยพลาสติก ด้านเดียวหรือสองด้าน ใช้สำหรับทำ เป็นแบบหล่อคอนกรีต

กาวสังเคราะห์ (synthetic resin adhesive) หมายถึง กาวที่ได้จาก ฟีโนลิกเรซินหรืออะมิโนพลาสติกเรซินอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองอย่างรวมกัน

วัสดุลิกโนเซลลูโลส หมายถึง วัสดุที่มีเซลลูโลสและลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ไม้ และพืชต่างๆ ได้แก่ ชานอ้อย ป่าน ปอ เป็นต้น

ไม้บาง หมายถึง แผ่นไม้บางที่ได้จากการปอกหรือฝาน

วัสดุที่ผ่านการบริโภคแล้ว (post-consumer material) หมายถึง วัสดุ หรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ ผ่านการใช้งานตามวัตถุประสงค์ของผลิตภัณฑ์นั้นๆ และได้รับ การเปลี่ยนรูปหรือฟื้นฟูสภาพ จากของเสียที่ต้องนำไปกำจัดเพื่อกลับมาใช้ประโยชน์

วัสดุที่ยังไม่ผ่านการบริโภค (pre-consumer material) หมายถึง วัสดุที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต หรือ กระบวนการแปรรูป เช่น เศษเหลือทิ้งหรือเศษวัสดุที่ เกิดจากการตัดแต่ง

วัสดุแปรสภาพ (recovered material) หมายถึง วัสดุที่เป็นของเสีย หรือผลผลิตพลอยได้ ที่ได้รับการฟื้นสภาพ หรือแปรรูป จากสายการเกิดของเสีย ทั้งนี้ ไม่รวม วัสดุ หรือผลผลิตพลอยได้ที่เกิดจาก การใช้ซ้ำ หรือกระบวนการผลิตเดิม ของผลผลิตพลอยได้ หรือ วัสดุเหลือทิ้งที่สามารถป้อนกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ได้

กระดาษ หมายถึง กระดาษที่ผ่านการพิมพ์ลาย เช่นลายไม้ หรือสีพื้น หนัก 40-140 กรัมต่อตารางเมตร อาจมีการเคลือบผิวบนด้วยไข เพื่อป้องกันน้ำ และความ เงา ซึ่งในกระบวนการปิดผิวจะต้องใช้ทาบนแผ่นไม้ แล้วใช้แรงอัน รอกาวแห้งก็สามารถใช้ได้ หรืออาจใช้ ความร้อนในการอัดเพื่อให้กาวแข็งตัวเร็วขึ้น ซึ่งจะเรียก ทั่วไปว่า “Foil หรือกระดาษ Foil”

กระดาษเคลือบเมลามีน หมายถึง กระดาษที่ผ่านการพิมพ์ลาย หรือสีพื้น แล้วนำมาผ่านกระบวนการเคลือบด้วยกาว Melamine Formaldehyde: MF ใน กระบวนการผลิตจะอบให้กาวเมลามีนแข็งตัว ซึ่ง

จะแข็งตัวสมบูรณ์ อีกครั้งในขั้นตอนการปิดผิว หรือจะเรียกว่า “กระดาษเคลือบเมลามีน หรือ LPM: Low Pressure Melmine”

สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ (volatile organic compounds: VOCs) หมายถึง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนหรือสารอินทรีย์ที่เป็นของเหลวหรือของแข็งที่ ระเหยหรือระเหิดสู่อากาศได้ง่ายที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียสที่ความดันปกติ

ข.4 ข้อกำหนดทั่วไป

ข้อ 4.1 ผลิตภัณฑ์ต้องได้รับการรับรอง หรือ ผ่านการทดสอบตามวิธีทดสอบด้าน คุณลักษณะที่ต้องการอย่างน้อยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใน ผลิตภัณฑ์ประเภทนั้นๆ ตามรายการดังนี้

- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐานเลขที่ 966 แผ่นใยไม้อัด ความหนาแน่นปานกลาง
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐานเลขที่ 876 แผ่นชิ้นไม้ อัด ชนิดอัดราบ
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐานเลขที่ 877 แผ่นชิ้นไม้ อัด ชนิดอัดกระทุ้ง
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐานเลขที่ 178 แผ่นไม้อัด
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐานเลขที่ 1163 แผ่ น เทอร์โมเซตติงแลมิเนต
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม มาตรฐานเลขที่ 1107 แผ่นไม้อัด เคลือบพลาสติกสำหรับแบบหล่อคอนกรีต

หรือมาตรฐานระดับประเทศที่ เทียบเท่าหรือสูงกว่ามาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมดังกล่าว หรื อ มาตรฐานระหว่างประเทศ หรือมาตรฐานระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ เช่น ISO ASTM หรือ JIS เป็นต้น

ข้อ 4.2 กระบวนการผลิต การขนส่ง และการกำจัดของเสียหลังกระบวนการผลิต ต้องเป็นไปตามกฎหมายและข้อบังคับของทางราชการ

ข.5 ข้อกำหนดพิเศษ

5.1 ต้องผลิตจาก

5.1.1 ไม้ ชิ้นไม้ หรือเส้นใยของไม้ ที่ไม่ได้ตัดโค่นมาจากป่าธรรมชาติ หรือ

5.1.2 วัสดุลิกโนเซลลูโลสเหลือทิ้งจากการเกษตร แหล่งชุมชนหรื อ อุตสาหกรรม

5.2 ใช้น้ำในกระบวนการผลิตไม่เกิน 50 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน (ผลิตภัณฑ์) โดยคิด เฉพาะน้ำดีที่เข้าสู่กระบวนการผลิต

5.3 ควบคุมปริมาณการใช้สารเคมีในผลิตภัณฑ์ ดังนี้

5.3.1 อนุญาตให้มีโลหะหนักได้ไม่เกินเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- โครเมียม (IV) ไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- แคดเมียม ไม่เกิน 75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- ปรอท ไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- ตะกั่ว ไม่เกิน 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- สารหนู ไม่เกิน 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- พลวง ไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- เซเลเนียม ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- แบเรียม ไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

5.3.2 ตรวจไม่พบสารเพนตะคลอโรฟีนอลในผลิตภัณฑ์ (ในกรณีที่ มีการ ปนเปื้อนจากความไม่บริสุทธิ์ และจากวัตถุดิบยอมให้มี ได้ไม่เกินร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก)

5.3.3 ปริมาณของสารฟอร์มาลดีไฮด์ กำหนดดังนี้

5.3.3.1 มีปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์ในเนื้อไม้ไม่เกิน 8 มิลลิกรัม/100 กรัมของแผ่นอัด แห้ง หรือ

5.3.3.2 มีปริมาณของสารฟอร์มาลดีไฮด์ที่ปล่อย (emission) ออกมา จากแผ่นอัดแห้ง ไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร

5.3.4 มีปริมาณ TVOCs ได้ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลูกบาศ์กเมตร

5.4 วัสดุปิดผิว

5.4.1 กระดาษเคลือบเมลามีน

1) กระดาษเคลือบเมลามีนที่ใช้ต้องไม่มีสารที่กำหนดใน Annex 1 of Directive 67/548/EEC เป็นส่วนประกอบ

2)กระดาษเคลือบเมลามีนที่ใช้ต้องไม่ มีสารหน่วงการติดไฟ (flame retardant) ดังต่อไปนี้ polybrominated biphenyl (PBB) และ polybrominated diphenyl ether (PBDE)

3) กระดาษเคลือบเมลามีนที่ ใช้ อนุญาตให้ มี ส่ วนผสมของพาทาเลต (phthalates) ดังต่อไปนี้ (DBP), diethylhexyl (DEHD), diethyl (DEP), butylbenzyl (BBP), di-octyl

(DOP), and dimethyl (DMP) phthalates รวมกันได้ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4) สีที่ใช้เป็นส่วนผสมของกระดาษเคลือบเมลามีนต้องไม่มีส่วนผสมของ สารโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม และโครเมียม (+6) (กรณีที่ปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากความไม่บริสุทธิ์และ ปนเปื้อนมาจากวัตถุดิบ ได้แก่ แคดเมียมมีปริมาณไม่เกิน 100 ppm ส่วนปรอท ตะกั่ว และโครเมียม (+6) มีปริมาณรวมกันได้ ไม่เกิน 1000 ppm โดยน้ำหนัก)

5.4.2 แผ่นเทอร์โมเซตติงแลมิเนตประเภท (horizontal general purpose : HG) และ (vertical light duty : VL)

1) ต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐาน เลขที่ 1163 แผ่นเทอร์โมเซตติงแลมิเนตประเภทใช้ งานทั่วไป (horizontal general purpose : HG) หรือ แผ่นเทอร์โมเซตติงแล มิเนตประเภทใช้งานเบา (vertical light duty : VL)

2) สีที่ใช้เป็นส่วนผสมของกระดาษเคลือบเมลามีนต้องไม่มีส่วนผสมของสารโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม และโครเมียม (+6) (กรณีที่ปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากความไม่บริสุทธิ์และ ปนเปื้อนมาจากวัตถุดิบ ได้แก่ แคดเมียมมี ปริมาณไม่เกิน 100 ppm ส่วนปรอท ตะกั่ว และโครเมียม (+6) มีปริมาณรวมกันได้ ไม่เกิน 1000 ppm โดยน้ำหนัก

3) แผ่นเทอร์โมเซตติงแลมิเนตประเภท (horizontal general purpose : HG) และ (vertical light duty : VL) ที่ใช้อนุญาตให้มี ส่ วนผสมของพาทาเลต (phthalates) ดังต่อไปนี้ (DBP), diethylhexyl (DEHD), diethyl (DEP), butylbenzyl (BBP), dioctyl (DOP), and dimethyl (DMP) phthalates รวมกันได้ไม่ เกิน 0.01 มิลลิกรัมกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4) แผ่นเทอร์โมเซตติงแลมิเนตประเภท (horizontal general purpose : HG) และ (vertical light duty : VL) ที่ใช้ต้องไม่มีสาร หน่วงการติดไฟ (flame retardant)ดังต่อไปนี้ polybrominated biphenyl (PBB) และ polybrominated diphenyl ether (PBDE)

5.4.3 กระดาษ

1) สีที่ใช้เป็นส่วนผสมของกระดาษเคลือบเมลามีนต้องไม่มีส่วนผสมของ สารโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม และโครเมียม (+6) (กรณีที่ปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากความไม่บริสุทธิ์และ ปนเปื้อนมาจากวัตถุดิบ ได้แก่ แคดเมียมมี ปริมาณไม่เกิน 100 ppm ส่วนปรอท ตะกั่ว และโครเมียม (+6) มีปริมาณรวมกันได้ ไม่เกิน 1000 ppm โดยน้ำหนัก

2) กระดาษที่ใช้ อนุญาตให้มีส่วนผสมของพาทาเลต (phthalates) ดังต่อไปนี้ (DBP), diethylhexyl (DEHD), diethyl (DEP), butylbenzyl (BBP), di-octyl (DOP), and dimethyl (DMP) phthalates รวมกันได้ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

5.4.4 ไม้บาง

1) ต้องผลิตจาก ไม้ ชิ้นไม้ ที่ไม่ได้ตัดโค่นมาจากป่าธรรมชาติ

2) สีที่ใช้เป็นส่วนผสมของกระดาษเคลือบเมลามีนต้องไม่ มีส่วนผสม ของสารโลหะหนัก ได้ แก่ ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม และโครเมียม (+6) (กรณี ที่ ปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์ ที่ เกิดจากความไม่ บริสุทธิ์และปนเปื้อนมาจากวัตถุดิบ ได้แก่ แคดเมียมมีปริมาณไม่เกิน 100 ppm ส่วนปรอท ตะกั่ว และโครเมียม (+6) มีปริมาณรวมกัน ได้ไม่เกิน 1000 ppm โดยน้ำหนัก)

3) ไม้ บางที่ ใช้ อนุญาตให้ มี ส่ วนผสมของพาทาเลต (phthalates) ดังต่อไปนี้ (DBP), diethylhexyl (DEHD), diethyl (DEP), butylbenzyl (BBP), di-octyl (DOP), and dimethyl (DMP) phthalates รวมกันได้ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

5.5 บรรจุภัณฑ์

5.5.1 หมึก สี เม็ดสี (pigment) หรือ สารเติมแต่ง (additive) อื่นๆ ที่ใช้พิมพ์บนบรรจุภัณฑ์หรือฉลากที่ติดบนบรรจุภัณฑ์ ต้องไม่มีส่วนผสมของสารโลหะหนัก ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว โครเมียม(+6) และแคดเมียม(ในกรณีที่มีการปนเปื้อนจากความไม่บริสุทธิ์ และจากวัตถุดิบยอมให้มีรวมกันได้ไม่เกินร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนัก (100 ppm) ต่อสีที่เป็นน้ำหนักแห้ง

5.5.2 บรรจุภัณฑ์พลาสติก มีสัญลักษณ์บ่งบอกประเภทของพลาสติกบนบรรจุ ภัณฑ์ สัญลักษณ์ที่ใช้ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สัญลักษณ์สำหรับพลาสติกแปรใช้ใหม่ มาตรฐานเลขที่ มอก. 1310 หรือ ISO 1043 หรือ ISO 11469 เพื่อสะดวกต่อการคัดแยกเพื่อนำกลับมาใช้ ใหม่

วิธีทดสอบ

6.1 ผู้ ผลิตต้องยื่นหลักฐานใบอนุญาตแสดงเครื่องหมายกับมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมตามประเภทของผลิตภัณฑ์นั้นๆ หรือแสดงผลทดสอบ คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ให้เป็นไปอย่างน้อย ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท หรือ แสดงผลทดสอบตามมาตรฐานระหว่างประเทศ หรือระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ

6.2 ผู้ผลิตต้องยื่นหลักฐานที่เชื่อได้ว่ากระบวนการผลิ ต การขนส่ง และการกำจัด ของเสียหลังกระบวนการผลิต ต้องเป็นไปตามกฎหมายและข้อบังคับของทาง ราชการ

ผู้ผลิตต้องยื่นหลักฐานที่เชื่อได้ว่าแหล่งที่มาของไม้ ดังนี้

แหล่งที่มาของไม้	การแสดงหลักฐาน
ไม้สวนป่าหรือไม้โตเร็ว หรือเศษวัสดุเหลือทิ้ง	หลักฐานแสดงที่มาของวัตถุดิบ ซึ่งอาจเป็น รายงานของโรงงาน จำนวนเศษวัสดุเหลือทิ้ง หรือใบเสร็จรับเงินค่าวัสดุเหลือทิ้ง ไม้สวนป่าหรือไม้ โตเร็ว ซึ่งรับรองลงนามโดยผู้ มีอำนาจลงนามจากแหล่งกำเนิดวัสดุเหลือทิ้ง
ไม้สวนป่าหรือไม้โตเร็ว หรือเศษวัสดุเหลือทิ้ง	สำเนาเอกสารสิทธิ์ที่ ดินที่ ถูกต้องตาม กฎหมายซึ่งลงนามรับรองโดยเจ้าของที่ดิน

6.4 ผู้ ผลิตต้องยื่นหลักฐานแสดงปริมาณการใช้ น้ำ ซึ่งหลักฐานดังกล่าวลงนาม รับรองโดยผู้มีอำนาจลงนามของบริษัท ตามหนังสือรับรองนิติบุคคล

6.5 ผู้ผลิตต้องยื่นผลทดสอบปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์ ตามวิธี ทดสอบในมาตรฐาน EN 71 Part 3 หรือมาตรฐานระหว่างประเทศหรือมาตรฐานระดับประเทศที่เทียบเท่า

6.6 ผู้ผลิตต้องยื่นผลทดสอบสารเพนตะคลอโรฟีนอล ตามวิธีทดสอบที่ กำหนดใน มาตรฐาน BS 3175 หรือ มาตรฐานระหว่างประเทศหรือระดับประเทศที่เป็น ที่ยอมรับ

6.7 ผู้ผลิตต้องยื่นผลการทดสอบปริมาณของสารฟอร์มาลดีไฮด์ในเนื้อไม้ ตามวิธี ทดสอบที่กำหนดในมาตรฐาน EN 120 หรือ ทดสอบปริมาณการปล่อยของสาร ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ปลดปล่อยจากแผ่นอัด ตามวิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐาน JIS A 1460 หรือ มาตรฐานระหว่างประเทศหรือระดับประเทศที่เทียบเท่า

6.8 ผู้ผลิตต้องยื่นผลการทดสอบปริมาณ TVOCs ตามวิธีทดสอบที่กำหนดใน มาตรฐาน ASTM D5116 หรือ มาตรฐานระหว่างประเทศหรือระดับประเทศที่ เทียบเท่า

6.9 ผู้ผลิตต้องยื่นผลการทดสอบตามที่กำหนดไว้ ในข้อ 5.4 ต่ อเจ้าหน้าที่โครงการ ฉลากเขียวโดยดังนี้

6.9.1 กระดาษเคลือบเมลามีน

- ผู้ผลิตต้องยื่นหนังสือรับรองที่เชื่อได้ว่ากระดาษเคลือบเมลามีนที่ใช้ต้องไม่มีสารที่กำหนดใน Annex 1 of Directive 67/548/EEC เป็นส่วนประกอบ ซึ่งรับรองโดยผู้มีอำนาจลงนามตามหนังสือรับรองนิติบุคคลของบริษัทผู้ผลิต

- ผู้ผลิตต้องยื่นหนังสือรับรองที่เชื่อได้ว่ากระดาษเคลือบเมลามีนที่ใช้ ต้องไม่มีสารหน่วงการติดไฟ (flame retardant) ดังต่อไปนี้ polybrominated biphenyl (PBB) และ polybrominated diphenyl ether (PBDE)
- ผู้ผลิตต้องยื่นผลการทดสอบกระดาษเคลือบเมลามีนที่ใช้ต้องไม่มี ส่วนผสมของพาทาเลต (phthalates) ตามวีทดสอบ ASTM D3421 หรื อ มาตรฐานระหว่างประเทศ หรือมาตรฐานระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ
- ผู้ผลิตต้องยื่นผลทดสอบสีที่ใช้ ในกระดาษเคลือบเมลามี น ตามวิ ธี ทดสอบสีที่ระบุในมาตรฐาน ISO 3856-1 หรื อ ASTM D 3335 สำหรับตะกั่ว, ISO 3856-4 หรือ ASTM D 3335 สำหรับ แคดเมียม, ISO 3856-5 สำหรับโครเมียม (VI) และ ISO 3856-7 หรือ ASTM D 3624 สำหรับปรอท หรือ มาตรฐานระว่างประเทศ หรือมาตรฐานระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ

6.9.2 แผ่นเทอร์โมเซตติงแลมิเนตประเภท (horizontal general purpose: HG) และ (vertical light duty : VL)

- ผู้ผลิตต้องยื่นหลักฐานใบอนุญาตแสดงเครื่องหมายกับมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐานเลขที่ 1163 แผ่นเทอร์โมเซตติง แลมิ เนต ประเภท (horizontal general purpose: HG) และ (vertical light duty : VL) หรือ แสดงผลทดสอบคุณลักษณะของ ผลิตภัณฑ์ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือแสดงผล ทดสอบตามมาตรฐานระหว่างประเทศ หรือระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ
- ผู้ ผลิตต้องยื่นผลทดสอบสี ที่ใช้ ในแผ่นเทอร์โมเซตติงแลมิเนต ประเภท (horizontal general purpose : HG) และ (vertical light duty : VL) ตามวิธีทดสอบสีที่ระบุในมาตรฐาน ISO 3856-1 หรือ ASTM D 3335 สำหรับตะกั่ว, ISO 3856-4 หรือ ASTM D 3335 สำหรับแคดเมียม, ISO 3856-5 สำหรับโครเมียม (VI) และ ISO 3856-7 หรือ ASTM D 3624 สำหรับปรอท หรือ มาตรฐาน ระว่างประเทศ หรือมาตรฐานระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ
- ผู้ผลิตต้องยื่นผลการทดสอบแผ่นเทอร์โมเซตติงแลมิ เนตประเภท (horizontal general purpose : HG) และ (vertical light duty : VL) ที่ใช้ต้องไม่มีส่วนผสมของพาทาเลต phthalates ตามวี ทดสอบ ASTM D3421 หรื อ มาตรฐานระหว่างประเทศ หรือ มาตรฐานระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ
- ผู้ผลิตต้องยื่นหนังสือรับรองที่เชื่อได้ว่าแผ่นเทอร์โมเซตติงแลมิเนต ประเภท (horizontal general purpose : HG) และ (vertical light duty : VL) ที่ใช้ต้องไม่มีสารหน่วงไฟ (flame retardants) ดังต่อไปนี้ polybrominated biphenyl (PBB) และ polybrominated diphenyl ether (PBDE)

6.1.3 กระดาษ

- ผู้ผลิตต้องยื่นผลทดสอบสีที่ใช้ในกระดาษ ตามวิธีทดสอบสีที่ระบุใน มาตรฐาน ISO 3856-1 หรือ ASTM D 3335 สำหรับตะกั่ว, ISO 3856-4 หรือ ASTM D 3335 สำหรับแคดเมียม, ISO 3856-5 สำหรับโครเมียม (VI) และ ISO 3856-7 หรือ ASTM D 3624 สำหรับปรอท หรื อ มาตรฐานระหว่างประเทศ หรือมาตรฐานระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ
- ผู้ผลิตต้องยื่นผลการทดสอบกระดาษที่ใช้ต้องไม่ มีส่วนผสมของพา ทาเลต(phthalates) ตามวิธีทดสอบ ASTM D3421 หรือ มาตรฐานระว่างประเทศ หรือมาตรฐานระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ

6.1.4 ไม้บาง

ผู้ผลิตต้องยื่นหลักฐานแสดงแหล่งที่มาของไม้ ดังนี้

แหล่งที่มาของไม้	**การแสดงหลักฐาน**
ไม้สวนป่าหรือไม้โตเร็ว หรือเศษวัสดุเหลือทิ้ง	หลักฐานแสดงที่ มาของวัตถุ ดิบซึ่งอาจเป็น รายงานของโรงงาน จำนวนเศษวัสดุเหลือทิ้ง หรือ ใบเสร็จรับเงินค่าวัสดุเหลือทิ้ง ไม้สวนป่าหรือไม้ โตเร็ว ซึ่งรับรองลงนามโดยผู้มีอำนาจลงนามจาก แหล่งกำเนิดวัสดุเหลือทิ้ง
ไม้ ที่ไม่ ได้มาจากสวนป่าหรือสวน จาก การเกษตร หรือ ไม้ จ ก การเกษตร หรือไม้ โตเร็ว	สำเนาเอกสารสิทธิ์ที่ดินที่ถูกต้องตามกฎหมายซึ่ง ลงนามรับรองโดยเจ้าของที่ดิน

- ผู้ ผลิตต้องยื่นผลการทดสอบไม้ บางที่ใช้ ต้องไม่มี ส่วนผสมของ (phthalates) ตามวิธีทดสอบ ASTM D3421 หรือ มาตรฐานระ ว่างประเทศ หรือมาตรฐานระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ

6.10 ผู้ผลิตต้องยื่นหลักฐานว่าเป็นไปตามที่กำหนดในข้อกำหนดพิเศษข้อที่ 5.5 โดย หลักฐานประกอบด้วย

- ผลทดสอบโลหะหนักในสีที่ใช้ในการพิมพ์ฉลาก หรือบนบรรจุภัณฑ์ตาม วิ ธีทดสอบที่ระบุในมาตรฐาน ISO 3856-1 หรือ ASTM D 3335 สำหรับตะกั่ว, ISO 3856-4 หรือ ASTM D 3335 สำหรับแคดเมียม, ISO 3856-5 สำหรับโครเมียม (VI) และ ISO 3856-7 หรือ ASTM D

3624 สำหรับปรอท หรือ มาตรฐานระหว่างประเทศ หรือมาตรฐาน ระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ

- หลักฐานการใช้สัญลักษณ์บ่งบอกประเภทของพลาสติก ซึ่งรับรองโดยผู้ มีอำนาจลงนามตามหนังสือรับรองนิติบุคคลของบริษัทผู้ผลิต

หมายเหตุ

1. ผลการทดสอบ
   - ห้องปฏิบัติการของราชการ หรือ สถาบันการศึกษา
   - ห้องปฏิบัติ การของเอกชนอิสระที่ ได้รับการรับรองความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมข้อกำหนด ทั่วไปว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการสอบเทียบและห้องปฏิบัติการทดสอบ มาตรฐานเลขที่ มอก. 17025 (ISO/IEC 17025)
2. ผลทดสอบที่ยื่นให้พิจารณาจะต้องมีอายุไม่เกิน 1 ปี นับจนถึงวันที่ยื่นสมัคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาคผนวก ก

ตารางส่วนผสมและผลการทดสอบ

ตารางที่ ก.1 แสดงปริมาณส่วนผสมในการทดสอบ

รหัส	อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก				
	ซีเมนต์	ดินลูกรัง	ทราย	ผงสี	เยื่อกระดาษ
SP1	1	5			0
SP2	1	5			0.3
SP3	1	5			0.6
SP4	1	5			0.9
SP5	1		5	0.02	0
SP6	1		5	0.02	0.3
SP7	1		5	0.02	0.6
SP8	1		5	0.02	0.9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตารางที่ ก.2 แสดงข้อมูลผลการทดสอบสมบัติความหนาแน่นของวัสดุ

รหัส/ชิ้นที่ทดสอบ		ความกว้าง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	ความหนา (ซม.)	ปริมาตร (ตร.ซม.)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ความหนาแน่น (กก./ตร. ซม.)	ความหนาแน่นเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
SP1	I	10.59	13.04	10.06	1361.67	1.608	1157.48	1158.19
	II	10.79	12.88	10.00	1416.80	1.606	1155.60	
	III	10.78	12.82	10.03	1386.14	1.610	1161.50	
SP2	I	12.68	11.18	11.12	1576.40	1.618	1026.39	1027.89
	II	12.82	11.92	10.26	1567.88	1.596	1017.94	
	III	12.42	11.62	11.24	1622.16	1.686	1039.35	
SP3	I	12.72	11.28	10.96	1646.74	1.470	934.78	929.93
	II	11.28	12.44	11.22	1538.14	1.458	926.05	
	III	11.26	12.44	11.22	1538.14	1.460	928.97	
SP4	I	11.06	11.38	11.62	1290.62	1.328	908.02	902.60
	II	11.48	11.48	11.44	1678.41	1.360	902.05	
	III	12.38	11.48	10.44	1531.70	1.332	897.72	
SP5	I	10.90	12.06	10.38	1452.12	1.940	1421.77	1424.85
	II	10.39	11.99	10.98	1315.19	1.942	1419.75	
	III	10.17	11.9	10.99	1303.89	1.906	1433.04	
SP6	I	12.26	11.98	9.90	1453.77	1.704	1225.78	1226.58
	II	11.54	12.12	9.92	1387.46	1.726	1228.87	
	III	11.57	12.16	9.95	1399.88	1.768	1225.11	
SP7	I	12.5	10.26	11.30	1449.23	1.566	1080.58	1089.48
	II	12.74	11.32	9.92	1430.63	1.566	1094.62	
	III	12.76	11.36	9.92	1437.94	1.572	1093.23	
SP8	I	10.99	10.99	12.20	1473.52	1.326	899.89	902.27
	II	11.84	12.46	9.89	1459.04	1.327	909.50	
	III	11.87	12.47	9.99	1478.71	1.327	897.40	

ตารางที่ ก.3 แสดงข้อมูลผลการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ

รหัส/ชิ้นที่ทดสอบ		ความกว้าง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	ความหนา (ซม.)	ปริมาตร (ตร.ซม.)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	น้ำหนักหลังจุ่มน้ำ (กิโลกรัม)	ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำ (%)
SP1	I	10.38	13.04	10.06	1361.67	1.608	1.889	18.08
	II	11.00	12.88	10.00	1416.80	1.606	1.889	
	III	10.78	12.82	10.03	1386.14	1.610	1.898	
SP2	I	12.68	11.18	11.12	1576.40	1.618	1.999	23.27
	II	12.82	11.92	10.26	1567.88	1.596	2.041	
	III	12.42	11.62	11.24	1622.16	1.686	1.996	
SP3	I	13.32	11.28	10.96	1646.74	1.470	1.884	29.36
	II	11.02	12.44	11.22	1538.14	1.458	1.891	
	III	11.02	12.44	11.22	1538.14	1.460	1.901	
SP4	I	9.76	11.38	11.62	1290.62	1.328	1.784	33.13
	II	12.78	11.48	11.44	1678.41	1.360	1.781	
	III	12.78	11.48	10.44	1531.70	1.332	1.786	
SP5	I	11.6	12.06	10.38	1452.12	1.940	2.282	17.94
	II	9.99	11.99	10.98	1315.19	1.942	2.271	
	III	9.97	11.9	10.99	1303.89	1.906	2.273	
SP6	I	12.26	11.98	9.90	1453.77	1.704	2.061	20.81
	II	11.54	12.12	9.92	1387.46	1.726	2.091	
	III	11.57	12.16	9.95	1399.88	1.768	2.129	
SP7	I	12.5	10.26	11.30	1449.23	1.566	1.982	26.28
	II	12.74	11.32	9.92	1430.63	1.566	1.972	
	III	12.76	11.36	9.92	1437.94	1.572	1.986	
SP8	I	10.99	10.99	12.20	1473.52	1.272	1.721	32.24
	II	11.84	12.46	9.89	1459.04	1.332	1.79	
	III	11.87	12.47	9.99	1478.71	1.376	1.752	

ตารางที่ ก.4 แสดงข้อมูลผลการทดสอบสมบัติการรับแรงอัดของชิ้นทดสอบ

รหัส/ชิ้นที่ทดสอบ		Peak Load (KN)	Maximum Load (kg)	Area (cm^3)	Compressive Strength (kg/cm^3)	Average Compressive Strength (kg/cm^3)
SP1	I	90.20	8845.003	137.015	64.555	63.71
	II	88.35	8663.592	135.08	64.137	
	III	88.70	8697.913	139.277	62.450	
SP2	I	46.30	4540.173	141.762	32.027	31.40
	II	47.40	4648.039	152.814	30.416	
	III	46.75	4584.300	144.320	31.765	
SP3	I	35.15	3446.805	150.249	22.941	24.46
	II	34.75	3407.582	137.088	24.857	
	III	35.75	3505.641	137.088	25.572	
SP4	I	28.05	2750.580	111.068	20.553	21.17
	II	28.90	2833.931	146.714	20.435	
	III	29.21	2864.330	146.714	22.519	
SP5	I	88.40	8668.495	139.89	72.167	70.83
	II	92.30	9050.929	119.780	69.318	
	III	89.35	8761.652	118.64	71.000	
SP6	I	53.10	5206.981	146.874	35.452	36.82
	II	54.75	5368.780	139.864	38.385	
	III	52.56	5154.028	140.691	36.634	
SP7	I	34.25	3358.552	128.250	26.188	24.59
	II	35.10	3441.902	144.216	23.866	
	III	35.04	3436.019	144.953	23.704	
SP8	I	30.70	3010.439	120.780	22.846	22.24
	II	34.84	3416.407	147.526	22.213	
	III	31.45	3083.984	148.018	21.669	

ตารางที่ ก.5 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกต้นแบบ SP2

การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ						
โครงสร้างผนัง		ความหนาแน่น $kg./m^3$	ความหนา m.	ค่า k w/m.K	ค่า C $w/m^2.'c$	R $m^2.k/w.$
R_o	ฟิล์มอากาศภายนอก					0.044
R_1	ปูนฉาบ	1568	0.015	0.533	35.533	0.028
R_2	บล็อกต้นแบบ SP2	1051.4	0.075	0.726	9.680	0.085
R_3	ปูนฉาบ	0	0	0	0.000	0.000
R_i	ฟิล์มอากาศภายใน					0.12
รวมค่าการต้านทานความร้อน (Rt) Sq.m. 'C/ w						0.277
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) W/Sq.m. 'C					3.609	

ตารางที่ ก.6 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกต้นแบบ SP6

การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ						
โครงสร้างผนัง		ความหนาแน่น $kg./m^3$	ความหนา m.	ค่า k w/m. K	ค่า C $w/m^2.'c$	R $m^2.k/w.$
R_o	ฟิล์มอากาศภายนอก					0.044
R_1	ปูนฉาบ	1568	0.015	0.533	35.533	0.028
R_2	บล็อกต้นแบบ SP6	1314.09	0.075	0.8331	11.108	0.081
R_3	ปูนฉาบ	0	0	0	0.000	0.000
R_i	ฟิล์มอากาศภายใน					0.12
รวมค่าการต้านทานความร้อน (Rt) Sq.m. 'C/ w						0.273
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) W/Sq.m. 'C					3.665	

ตารางที่ ก.7 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกประสานต้นแบบ SP2

การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ						
โครงสร้างผนัง		ความหนาแน่น $kg./m^3$	ความหนา m.	ค่า k w/m. K	ค่า C $w/m^2.'c$	R $m^2.k/w.$
R_o	ฟิล์มอากาศภายนอก					0.044
R_1	ปูนฉาบ	1568	0.015	0.533	35.533	0.028
R_2	บล็อกประสานต้นแบบ SP2	1273.77	0.1	0.9739	9.739	0.103
R_3	ปูนฉาบ	0	0	0	0.000	0.000
R_i	ฟิล์มอากาศภายใน					0.12
รวมค่าการต้านทานความร้อน (Rt) Sq.m. 'C/ w						0.295
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) W/Sq.m. 'C					3.392	

ตารางที่ ก.8 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกประสานต้นแบบ SP6

การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ						
โครงสร้างผนัง		ความหนาแน่น $kg./m^3$	ความหนา m.	ค่า k w/m. K	ค่า C $w/m^2.'c$	R $m^2.k/w.$
R_o	ฟิล์มอากาศภายนอก					0.044
R_1	ปูนฉาบ	1568	0.015	0.533	35.533	0.028
R_2	บล็อกประสานต้นแบบ SP6	1482.2	0.07	1.0424	10.424	0.096
R_3	ปูนฉาบ	0	0	0	0.000	0.000
R_i	ฟิล์มอากาศภายใน					0.12
รวมค่าการต้านทานความร้อน (Rt) Sq.m. 'C/ w						0.288
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) W/Sq.m. 'C					3.471	

ตารางที่ ก.9 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังอิฐมอญ

การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ						
โครงสร้างผนัง		ความหนาแน่น kg./m^3	ความหนา m.	ค่า k w/m. K	ค่า C w/m^2.'c	R m^2.k/w.
R_o	ฟิล์มอากาศภายนอก					0.044
R_1	ปูนฉาบ	1568	0.015	0.533	35.533	0.028
R_2	อิฐมอญ	1671.24	0.07	0.877	12.529	0.080
R_3	ปูนฉาบ	0	0	0	0.000	0.000
R_i	ฟิล์มอากาศภายใน					0.12
รวมค่าการต้านทานความร้อน (Rt) Sq.m. 'C/ w						0.272
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) W/Sq.m. 'C					3.677	

ตารางที่ ก.10 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกคอนกรีตกลวง

การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ						
โครงสร้างผนัง		ความหนาแน่น kg./m^3	ความหนา m.	ค่า k w/m. K	ค่า C w/m^2.'c	R m^2.k/w.
R_o	ฟิล์มอากาศภายนอก					0.044
R_1	ปูนฉาบ	1568	0.015	0.533	35.533	0.028
R_2	บล็อกคอนกรีตกลวง	1005.71	0.075	0.5148	6.864	0.146
R_3	ปูนฉาบ	0	0	0	0.000	0.000
R_i	ฟิล์มอากาศภายใน					0.12
รวมค่าการต้านทานความร้อน (Rt) Sq.m. 'C/ w						0.338
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) W/Sq.m. 'C					2.960	

ตารางที่ ก.11 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกคอนกรีตอบไอน้ำมวลเบา

การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ						
โครงสร้างผนัง		ความหนาแน่น $kg./m^3$	ความหนา m.	ค่า k w/m. K	ค่า C $w/m^2.'c$	R $m^2.k/w.$
R_o	ฟิล์มอากาศภายนอก					0.044
R_1	ปูนฉาบ	1568	0.015	0.533	35.533	0.028
R_2	บล็อกคอนกรีตอบไอน้ำมวลเบา	638.13	0.075	0.1914	2.552	0.392
R_3	ปูนฉาบ	0	0	0	0.000	0.000
R_i	ฟิล์มอากาศภายใน					0.12
รวมค่าการต้านทานความร้อน (Rt) Sq.m. 'C/ w						0.584
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) W/Sq.m. 'C					1.712	

ตารางที่ ก.12 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผนังบล็อกประสานจากดินผสมซีเมนต์

การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ						
โครงสร้างผนัง		ความหนาแน่น $kg./m^3$	ความหนา m.	ค่า k w/m. K	ค่า C $w/m^2.'c$	R $m^2.k/w.$
R_o	ฟิล์มอากาศภายนอก					0.044
R_1	ปูนฉาบ	1568	0.015	0.533	35.533	0.028
R_2	บล็อกประสานจากดินผสมซีเมนต์	1898.69	0.1	1.4726	14.726	0.068
R_3	ปูนฉาบ	0	0	0	0.000	0.000
R_i	ฟิล์มอากาศภายใน					0.12
รวมค่าการต้านทานความร้อน (Rt) Sq.m. 'C/ w						0.260