วัสดุปูพื้นภายนอกอาคารจากขยะอุตสาหกรรม ประเภทกากตะกรันเหล็ก

โดย

อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ

ประพัฒน์ สีใส

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2558

Outdoor Flooring from Industry Wastes

Category Expanded Slag

By

Udomvit Chaisakulkiet

Prapat Seesai

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2015

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

จากนโยบายของกระทรวงอุตสาหกรรมที่ส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ (Eco-Industry) โดยส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาที่สอดคล้องกันทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมอันจะทำให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน อุตสาหกรรมและชุมชนสามารถอยู่ร่วมกันได้อย่างเป็นสุขรวมทั้งสามารถพัฒนาไปสู่การเป็นสังคมปลดปล่อยคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Society) ได้ในอนาคต กรมแรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) จึงส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมมีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้มีการหมุนเวียนและใช้ทรัพยากรร่วมกันอย่างเกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบ การวางแผนการผลิต ขั้นตอนการผลิต และการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นทั้งภายในโรงงาน ภายในกลุ่มอุตสาหกรรม และระหว่างกลุ่มอุตสาหกรรม อันจะทำให้อุตสาหกรรมไทยก้าวไปสู่การเป็นสังคมที่ใช้วัสดุหมุนเวียน (Material-cycling Society) อย่างแท้จริง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม,2549)

อุตสาหกรรมรีไซเคิลเหล็กจากเศษเหล็ก หรือการหลอมเหล็กเพื่อขึ้นรูป จำเป็นจะต้องมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดอุณหภูมิในการหลอมเหล็ก เช่น การใช้ปูนขาว ภายหลังจากการหลอมเหล็กเสร็จสิ้นแล้ว ขบวนการผลิตจะเหลือวัสดุเหลือใช้ (By-Product) อยู่จำนวนหนึ่งซึ่งมีลักษณะที่จำแนกได้เป็น 3 ประเภท ตามแต่กระบวนการจัดการของเสีย ประเภทแรก ตะกรันจะถูกย่อยให้เย็นตัวลงแล้วโดยปกติ (Air Cooled Slag) และมีลักษณะเป็นก้อนแข็ง ประเภทที่สอง ตะกรันจะถูกปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วโดยใช้น้ำฉีดที่ความดันสูงจนตะกรันที่ได้แตกตัวและมีขนาดเล็กประมาณ 3 มม. (Granulated Slag) ประเภทสุดท้าย ตะกรันจะถูกทำให้เย็นตัวลงด้วยน้ำการเทลงบ่อน้ำ จากการเย็นตัวแบบนี้ตะกรันจะขยายฟองน้ำ แข็ง เบา มีความสูง (Expanded Slag) ตามข้อมูลของสำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน พบว่ามีของเสียเหล่านี้ประมาณ 1.54 ล้านตันต่อปี (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน,2540) จากการศึกษาวิจัยและพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำของเสียจำพวกเถ้าจากการเผาไหม้และกากตะกรันโลหะหลายชนิดมาใช้ประโยชน์ในการผลิตคอนกรีต แต่ในปัจจุบันยังคงมีของเสียเหล่านี้ถูกส่งไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบในปริมาณมาก

ดังนั้นผู้จัดทำโครงงานจึงเล็งเห็นความสำคัญที่จะทำการศึกษา เรื่อง การศึกษาการใช้กากตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมในการผลิตบล็อกปูถนน โดยการนำของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีคุณสมบัติปอซโซลานและคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมมาผสมกับปูนซีเมนต์และทรายหรือดิน ในอัตราที่เหมาะสม แล้วนำส่วนผสมไปผลิตเป็นวัสดุปูพื้นภายนอกอาคารตามที่ต้องการ จากนั้นนำไปบ่มเป็นระยะเวลา 10-28 วัน เพื่อให้มีความแข็งแรงก่อนจะนำไปใช้ในงานก่อสร้างต่อไป การนำของเสียที่ต้องกำจัดมาใช้ประโยชน์ด้วยการเป็นวัสดุผสมผลิตบล็อกปูถนน จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสม เนื่องจากส่งผลดีทั้งต่อสภาพแวดล้อมจาก

การที่ทำให้มีปริมาณของเสียที่ต้องฝังกลบหรือกำจัดน้อยลง ส่วนในแง่ของผู้ประกอบกิจการโรงงานนอกจากจะได้รับผลตอบแทนที่มีมูลค่าสูงกว่าเงินลงทุนแล้ว ยังทำให้ภาพลักษณ์ของสถานประกอบการดีขึ้นอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของการใช้กากตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมในการผลิตบล็อกปูถนน

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของการใช้กากตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมในการผลิตบล็อกปูถนน และศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานทางวิศวกรรม

1.3 ขอบเขตของการศึกษาโครงงาน

1.3.1 ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมของการใช้กากตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมในการผลิตบล็อกปูถนน โดยทำการทดสอบในส่วนของการหาปริมาณความชื้น การหาขนาดคละ การหาค่าความถ่วงจำเพาะ ปริมาณน้ำที่เหมาะสม และการหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

1.3.2 ทำการทดสอบบล็อกปูถนนจากตะกรันเหล็ก โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับขยะอุตสาหกรรมประเภทกากตะกรันเหล็ก จำนวน 3 อัตราส่วนคือ 1:3 , 1:5 , 1:7 โดยน้ำหนัก ใช้ตัวอย่างอัตราส่วนผสมละ 20 ตัวอย่างรวมทั้งหมด 75 ตัวอย่าง

1.3.3 ทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมด้านต่างๆของตัวอย่างบล็อกปูถนนจากตะกรันเหล็ก ในส่วนของการตรวจสอบลักษณะทั่วไป ความต้านทานแรงอัด การดูดกลืนน้ำ ของแต่ละอัตราส่วนผสม และทำการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่สำคัญของตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนที่ผลิตจากวัสดุที่นิยมใช้ในการผลิตเป็นบล็อกปูถนนทั่วไป คือ หินฝุ่น

1.3.4 ทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมต่างๆ ว่าอัตราส่วนใดจะทำให้คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมดีที่สุดผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.827-2531 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น กระทรวงอุตสาหกรรมและอย่างอื่นที่เกี่ยวข้อง และมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และโดยทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนที่ผลิตจากวัสดุที่นิยมใช้ในการผลิตเป็นบล็อกปูถนนทั่วไป คือ หินฝุ่น

1.3.5 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของการใช้กากตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมในการผลิตบล็อกปูถนน ตรวจสอบเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.827-2531 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น กระทรวงอุตสาหกรรม เพื่อให้ทราบข้อจำกัดของปริมาณมวลสารที่เป็นอันตรายในของเสีย ที่จะไม่ทำให้บล็อกปูถนนเป็นของเสียอันตราย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้องค์ความรู้ในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการความเป็นไปได้ในการใช้กากตะกรันเหล็กแทนวัสดุมวลรวมในการผลิตบล็อกปูถนน

1.4.2 ช่วยลดต้นทุนการกำจัดของเสียของโรงงาน ขณะเดียวกันหากโรงงานนำวัสดุปูพื้นภายนอกอาคารที่ผลิตได้ไปใช้ในงานก่อสิ่งปลูกสร้างของโรงงาน ก็จะเป็นการประหยัดค่าใช่จ่ายวัสดุก่อสร้างที่ต้องจัดหา

1.4.3 ทราบถึงความเป็นไปได้สำหรับการประยุกต์ใช้งานจริง

1.4.4 ร่วมเสนองานในงานประชุมสัมมนาวิชาการต่าง ๆ เช่น งานประชุมสัมมนา วิศวกรรมแห่งชาติ, งานประชุมสัมมนาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, งานประชุมสัมมนาราชมงคลวิชาการและงานประชุมสัมมนาในหน่วยงานมหาวิทยาลัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.5 วิธีดำเนินการและสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1.5.1 วิธีดำเนินการโครงงาน

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดลอง ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1.5.2 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้

1.5.2.1 กากตะกรันเหล็ก เป็นฝุ่นเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปเหล็กของบริษัท อุสาหกรรมเหล็กกล้าเอเชี่ยน จำกัด 347 หมู่ 4 ซ.สวนหลวง 1 ต.ท่าไม้ อ.กระทุ่มแบน จ.สมุทรสาคร โดยมีปริมารเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก

1.5.2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง ในการทำตัวอย่างทดสอบคอนกรีตบล็อกปูพื้นจากกากตะกรันเหล็ก

1.5.2.3 น้ำได้ใช้น้ำประปาสะอาด มาใช้ในส่วนผสมในการทำตัวอย่างทดสอบคอนกรีตบล็อกปูพื้นจากกากตะกรันเหล็ก

1.5.2.4 หินฝุ่น มาใช้ในส่วนผสมในการทำตัวอย่างทดสอบคอนกรีตบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารจากกากตะกรันเหล็ก

1.5.3 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมของกากตะกรันและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้ในการผลิตตัวอย่างทดสอบของคอนกรีตปูถนนมาตรฐานกับบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็ก

1.5.4 การศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมด้านต่างๆของบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็กและตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนที่ผลิตจากวัสดุที่นิยมใช้

1.5.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมต่างๆของการศึกษาบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็ก โดยทำการพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดสอบ ในส่วนของการตรวจสอบลักษณะทั่วไปและมิติ ความต้านทานแรงอัด การดูดกลืนน้ำ และความต้านทานแรงอัด จากอัตราส่วนผสมทั้ง 3 อัตราส่วน ว่าอัตราส่วนผสมใด ที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมดีที่สุดสามารถนำไปใช้ในการผลิต และใช้ในการก่อสร้าง

ได้จริง โดยอ้างอิงกับผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827-2531 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น กระทรวงอุตสาหกรรม และอย่างอื่นที่เกี่ยวข้อง และทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนที่ผลิตจากวัสดุที่นิยมใช้ในการผลิตทั่วไป คือ หินฝุ่น โดยทำการเปรียบเทียบในส่วนของผลการทดสอบ กำลังต้านทานแรงอัด กำลังต้านทานแรงดัด และการดูดกลืนน้ำ ว่าตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนจากกากตะกรัน ในศึกษาโครงงานมีคุณสมบัติที่ดี หรือด้อยกว่า บล็อกปูถนนผลิตจากวัสดุที่นิยมใช้ในการผลิตโดยทั่วไปหรือไม่อย่างไร

1.5.6 สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1.5.6.1 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร. รัตนโกสินทร์

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ (Portland cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์เป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic cement) เมื่อผสมกับน้ำ สามารถก่อตัว และแข็งตัวได้ พร้อมกับมีความร้อนเกิดขึ้น โดยที่ระยะเวลาการก่อตัวและปริมาณความร้อนจะขึ้นอยู่กับความละเอียดและส่วนประกอบของปูนซีเมนต์เมื่อใช้ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำจะได้ซีเมนต์เพสต์ (cement paste) เมื่อนำทรายผสมเข้ากับซีเมนต์เพสต์จะได้มอร์ตาร์ (mortar) เมื่อนำหินผสมกับมอร์ตาร์จะได้คอนกรีต (concrete) ปูนซีเมนต์ปอร์แลนต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ดซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการผสมส่วนต่างๆ เช่น หินปูน (lime stome stone) หรือปูนขาว (marl) กับดินเหนียว (clay) หรือหินดินดาน (shale) ปูนซีเมนต์ปอร์แลนต์มีสารประกอบหลัก 4 ส่วน คือ

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate) $3CaO\ SiO_2$ (C_3S)
2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate) $2CaO\ SiO_2$ (C_2S)
3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate) $3CaO\ Al_2O_3$ (C_3A)
4. เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Teterecalciumaluminoferrite) $4CaO\ Al_2O_3\ Fe_2O_3$ (C_4AF)

ตารางที่ 2-1 แสดงสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ (Mindess and Yong, 1981)

ชื่อสารประกอบทางเคมี	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ	น้ำหนัก (ร้อยละ)
ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalium Silicate)	3 CaO SiO2	C3S	35-55
ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalium Silicate)	2 CaO SiO2	C2S	15-35
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalium Alumminat)	3 CaO Al2O3	C3A	7-15
เตตราแคลเซียมอลูมิเนต (Tetraicalium Alumminat)	4 CaO Al2O3Fe2O3	C4AF	5-10

สารประกอบแต่ละชนิดสามารถปรับปรุงปริมาณเพื่อทำให้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดต่างๆ ได้ตามความต้องการใช้งาน

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ตารางที่ 2-2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของปูนซีเมนต์ปอต์แลนต์ประเภทที่ 1 (ปริญญาและชัย) ,2547, น. 290)

ลำดับ	สารเคมีประกอบ	ปริมาณ %
1	Silicon dioxide (Sio_2)	20
2	Aluminum oxide (Al_2O_3)	5
3	Iron oxide (Fe_2O_3)	3
4	Calcium oxide (CaO)	60
5	Magnesium oxide (MgO)	1.1
6	Sulfur trioxide (So_3)	2.4
7	ออกไซด์อื่นๆ	1.5
8	Loss On Ignition (LOI)	2

2.1.3 ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (blast-furnace slag) คือผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่โลหะซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิเกตและอลูมิโนซิลิเกตของแคลเซียมและอื่นๆ ซึ่งเกิดขึ้นในขณะหลอมละลายพร้อมกับเหล็กในเตาถลุงเหล็กนอกจากนี้ยังให้คำจำกัดความของเม็ดตะกรันเตาถลุงเหล็ก (granulated blast-furnace slag) หมายถึงเม็ดวัสดุที่ไม่เป็นผลึกซึ่งได้จากการทำตะกรันที่หลอมเหลวในเตาถลุงเหล็กให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วโดยการจุ่มลงในน้ำหรือใช้น้ำฉีดเพื่อให้ตะกรันเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ตะกรันเตาถลุงเหล็กนอกจากจะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์แล้ว ยังใช้เป็นวัสดุประสานในส่วนผสมร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาวอิ่มตัว (hydrated lime) ยิปซัม หรือ แอนไฮไดรต์ (anhydrite) ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดสามารถใช้ในรูปของปูนซีเมนต์ผสมหรือใช้เป็นส่วนผสมแยกต่างหากในการผสมคอนกรีต ซึ่งการใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดแยกผสมต่างหากในการผสมคอนกรีตมีข้อดี 2 ประการคือ

1. สามารถบดตะกรันเตาถลุงเหล็กให้ละเอียดจนถึงค่าที่ต้องการ
2. สามารถปรับปริมาณของตะกรันเตาถลุงเหล็กให้เหมาะสมกับงานแต่ละงานได้

เนื่องจากในปัจจุบันมีการผลิตตะกรันเตาถลุงเหล็กในประเทศไทย ดังนั้นจึงขอให้รายละเอียดที่เกี่ยวกับตะกรันเตาถลุงเหล็กเพื่อเป็นวัสดุอีกทางเลือกหนึ่งในส่วนผสมของคอนกรีต

2.1.4 กระบวนการผลิตตะกรันเตาถลุงเหล็ก

ในกระบวนการถลุงเหล็ก โรงงานจะใส่สินแร่เหล็กเข้าในเตาถลุงรวมทั้งใส่สารที่เป็น ฟลักซ์ (flux) ซึ่งได้แก่ หินปูนและหินโดโลไมต์ เพื่อลดอุณหภูมิของจุดหลอมเหลวลงเพื่อประหยัดพลังงาน การเผาจะใช้ถ่านโค้ก (ถ่านโค้ก คือถ่านหินที่เผาจนหมดควัน) เป็นเชื้อเพลิง หลังจากเผาจนอุณหภูมิสูงประมาณ 1,500 องศาเซลเซียล จะได้ผลิตภัณฑ์ 2 อย่างเกิดขึ้นในเตาเผาพร้อมกัน คือเหล็กที่หลอมจนเหลวซึ่งตกอยู่ก้นเตาและตะกรันเหลวซึ่งลอยอยู่เหนือเหล็กเหลว การทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ช่วยป้องกันการเกิดผลึกในตะกรันเตาถลุงเหล็ก และทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเป็นเม็ดที่มีขนาดเฉลี่ยเล็กกว่า 4.75 มม. จึงเรียกว่าเม็ดตะกรันเตาถลุงเหล็ก

ในทางตรงกันข้ามถ้าปล่อยให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กที่ออกจากเตาเผาเย็นตัวลงอย่างช้าๆ จะทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กอยู่ในรูปที่เป็นผลึกเป็นส่วนใหญ่และไม่มีคุณสมบัติทางวัสดุประสาน กระบวนทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วเพื่อไม่ให้เป็นผลึก ทำได้โดยการฉีดน้ำที่มีความเร็วสูงไปกระทบกับตะกรันเตาถลุงเหล็กเหลวที่ยังร้อนอยู่ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อตะกรันเตาถลุงเหล็กประมาณ 10:1 โดยมวล ซึ่งทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเป็นเม็ดและอยู่ในรูปไม่เป็นผลึกสูงมาก ภายหลังที่ได้เม็ดตะกรันเตาถลุงเหล็กจึงทำให้แห้งและบดให้ละเอียด โดยใช้วิธีการเดียวกับการบดเม็ดปูนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ในช่วงก่อนและระหว่างการบดเม็ดตะกรันเตาถลุงเหล็กจะนำแม่เหล็กมาดูดแร่เหล็กที่ยังติดมาหรือตกค้างอยู่ออกก่อนเพื่อนำแร่เหล็กกลับไปใช้ใหม่ ตะกรันเตาถลุงเหล็กจะบดให้ละเอียดกว่าปูนซีเมนต์เพราะการทำปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้นตามความละเอียดของตะกรันเตาถลุงเหล็กที่เพิ่มขึ้น

2.1.5 องค์ประกอบทางเคมี

ตะกรันเตาถลุงเหล็กประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกาและอลูมินาเป็นหลักซึ่งปนมากับสินแร่เหล็กและยังมีออกไซด์ของแคลเซียมและแมกนีเซียมซึ่งมาจากหินปูนและหินโดโลไมต์ องค์ประกอบหลักนี้รวมกันแล้วมีมากกว่าร้อยละ 95 นอกจากนี้ยังมีออกไซด์อื่นๆ ที่ติดมา เช่น SO3, Fe2O3 และ MnO อยู่เล็กน้อย แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดที่ผลิตในอเมริกาและแคนาดาใน ค.ศ. 1988 แม้ว่าองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด จะแตกต่างกันมาก แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะแต่ละโรงงานจะพบว่ามีค่าแตกต่างกันไม่มาก การที่ตะกรันเตาถลุงเหล็กมีออกไซด์ของแคลเซียมค่อนข้างสูง (มากกว่าร้อยละ 30 ขึ้นไป) จึงทำให้ตะกรันเตาถลุงเหล็กเป็นวัสดุประสานได้ด้วยตัวเองเมื่อผสมกับน้ำ

ตารางที่ 2-3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันเหล็กที่ผลิตในอเมริกาและแคนาดา (วารสารคอนกรีต TCA e-magazine โดย ศาสตราจารย์ ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

ลำดับ	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ โดยน้ำหนัก (%)
1	Silicon dioxide (SiO_2)	32-40
2	Aluminum oxide (Al_2O_3)	7-16
3	Calcium oxide (CaO)	32-45
4	Magnesium oxide (MgO)	5-15
5	Sulfur trioxide (So_3)	0.7-2.2
6	Iron oxide (Fe_2O_3)	0.1-1.5
7	Manganese oxide MnO	0.2-1.0

2.1.6 ซีเมนต์เพสต์

ซีเมนต์เพสต์มีหน้าที่เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม เช่น หิน กรวด และทราย หล่อลื่นคอนกรีตสดขณะเทหล่อ และทำให้กำลังคอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำ คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์และความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์หรือเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration Reaction)

2.1.7 โครงสร้างของซีเมนต์เพสต์

ส่วนประกอบของซีเมนต์เพสต์ขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration Reaction) ของซีเมนต์เพสต์ที่อายุ 7,28 และ 90 วัน ตามลำดับ ที่อายุ 7 วัน พบว่าโครงสร้างระดับจุ,ภาคของซีเมนต์เพสต์ มีช่องว่างหรือโพรงมาก พบเอททริงไกต์มีลักษณะเป็นเข็มยาวเกิดขึ้นรอบเม็ดปูนและขยายเข้าไปในช่องว่าง ที่อายุ 28 วัน ผลิตผลไฮเดรชั่น ประกอบด้วยแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต,แคลเซียมไฮดรอกไซด์, แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต และซัลโฟเฟอร์ไรด์ และส่วนประกอบย่อยอื่นอีกไม่มาก ขยายเข้าไปในโพรงหรือช่องว่างมากขึ้นทำให้ซีเมนต์เพสต์มีความหนาแน่นขึ้น โดยเฉพาะที่อายุ 90 วัน ซีเมนต์เพสต์มีโครงสร้างที่แน่นยิ่งขึ้น

2.1.8 น้ำ

มีหน้าที่หลักคือ ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration Reaction) กับปูนซีแมนต์ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทรได้ และเคลือบหินทรายเปียกเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์สามารถเข้าเกาะได้โดยรอบ นอกเหนือจากหน้าที่หลักแล้ว น้ำยังสามารถช่วยล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ และใช้บ่มคอนกรีตอีกด้วย

2.1.9 วัสดุปอซโซลาน

วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) หมายถึง วัสดุที่ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกา (Siliceous) หรือซิลิกาและอลูมินา (Siliceous and Aluminous) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปแล้ววัสดุปอซโซลานมีคุณสมบัติของวัสดุประสานน้อยมากหรือไม่มีเลย แต่เมื่อมีความละเอียดและมีความชื้นที่เพียงพอจะสามารถทำปฏิกิริยากับด่างหรือแคลเซียมออกไซด์ ($Ca(OH_2)$) ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสานได้ดีคล้ายกับปูนซีเมนต์ เรียกว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ว่าปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) โดยทั่วไปวัสดุปอซโซลานที่มีอยู่ในปัจจุบันแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ วัสดุปอซโซลานธรรมชาติ (Naturul Pozzolan) ซึ่งเกิดจากกระบวนการธรรมชาติ เช่น เถ้าภูเขาไฟ และดินขาว (Metakaolin) เป็นต้น ส่วนอีกประเภทหนึ่ง คือ วัสดุปอซโซลานสังเคราะห์ (Artificial Pozzotan) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุพลอนได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรม เช่น ซิลิกาฟูม เถ้าถ่านหิน เถ้าชานอ้อย เถ้าแกลบ และตะกรันเตาถลุงเหล็ก เป็นต้น

ปัจจุบันวัสดุปอซโซลานจะนิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีตในรูปแบบของการแทนบางส่วนในปูนซีเมนต์ เนื่องจากวัสดุปอซโซลานช่วยปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตให้ดีขึ้นทั้งในด้านกำลังอัดและสามารถลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีต ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลดลง เนื่องจากวัสดุปอซโซลานมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ วัสดุปอซโซลานแต่ละชนิดอาจส่งผลดีต่อคอนกรีตแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัว โดยมีองค์ประกอบทางแร่ธาตุที่อยู่ในรูปไม่เป็นผลึกและความละเอียดของปอซโซลานคือปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี

2.1.10 บล็อกปูพื้นซีเมนต์

บล็อกปูพื้นซีเมนต์ผลิตจากซีเมนต์ผสมกับทราย ซึ่งมีลักษณะผิวและขนาดต่างๆกัน แล้วแต่จะออกแบบให้เหมาะกับการใช้ เช่น กระเบื้องซีเมนต์ที่ผลิตออกมาในขนาด 40 x 40 เซนติเมตร หนาประมาณ 3 เซนติเมตร ผิวเรียบ ใช้สำหรับปูทางเดินภายนอกอาคารขนาด 40 x 40 เซนติเมตร หนา 3 เซนติเมตร มีทั้งสีแดง สีซีเมนต์ สำหรับปูพื้นดินอัดแน่นแล้วอัดทรายทับหน้าเช่นที่นิยมใช้ปูตามชานชาลาสถานีรถไฟทั่วๆไปหรืออาจผลิตเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20,30,40 เซนติเมตร ผิวหน้าฝังกรวดก้อนโตๆความหนาของแผ่นประมาณ 3-5 เซนติเมตร เพื่อปูทางเดินในสวนก็มี หรืออาจทำเป็นรูปลักษณะตัว I หรือรูปคดกริช รูปรวงผึ้ง ฯลฯ ซึ่งเป็นของบริษัทปูนซีเมนต์ไทยจำกัด โดยมีความหนาต่างๆ กัน เช่น อย่างบางสำหรับปูทางเดินเท้า อย่างหนาสำหรับปูที่จอดรถหรือปูถนน ลักษณะของกระเบื้องดังกล่าวมีดังนี้

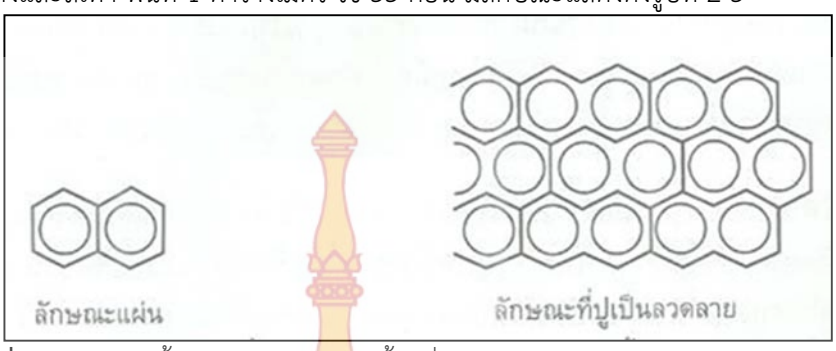
- รูปคดกริช มีขนาดยาว 22.5 เซนติเมตร กว้าง 12.5 เซนติเมตร หนา 6 และ 10 เซนติเมตร ชนิดหนา 6 เซนติเมตรใช้สำหรับปูทางเท้า ที่จอดรถ ทำถนนภายในบ้าน ส่วนชนิดหนา 10 เซนติเมตรใช้สำหรับพื้นที่รับน้ำหนักสูง เช่นถนนสาธารณะ ลานจอดรถ มีทั้งสีแดง เทาเหลือง ดำ โดยพื้นที่ 1 ตารางเมตรใช้ 40 ก้อน มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2-1

รูปที่ 2-1 บล็อกปูพื้นถนนซีแพค รูปคดกริช (ที่มา : หนังสือวัสดุก่อสร้าง หน้า 269 ผู้แต่ง พงศ์พันวรสุนทโรสถ และ วรพงศ์ วรสุนทโรสถ)

- รูปตัว I มีขนาดกว้าง 16.3 เซนติเมตร ยาว19.8 เซนติเมตร หนา 6 เซนติเมตร หนัก 3.8 กิโลกรัม มีสีแดง เทา และสีอิฐ พื้นที่ 1 ตารางเมตร ใช้ 35 ก้อน มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2-2

รูปที่ 2-2 บล็อกปูพื้นถนนซีแพค รูปตัว I (ที่มา : หนังสือวัสดุก่อสร้าง หน้า 270 ผู้แต่ง พงศ์พันวรสุนทโรสถ และ วรพงศ์ วรสุนทโรสถ)

- รูปรวงผึ้ง มีขนาดกว้าง 18.8 เซนติเมตร ยาว 23.4 เซนติเมตร หนา 6 เซนติเมตร หนัก 4 กิโลกรัม มีสีแดงและสีเทา พื้นที่ 1 ตารางเมตร ใช้ 33 ก้อน มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2-3



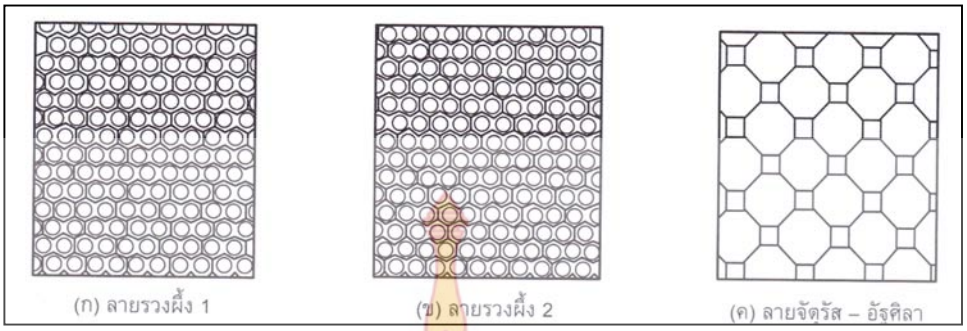
รูปที่ 2-3 บล็อกปูพื้นถนนซีแพค รูปรวงผึ้ง(ที่มา : หนังสือวัสดุก่อสร้าง หน้า 270 ผู้แต่ง พงศ์พัน วรสุนทโรสถ และ วรพงศ์ วรสุนทโรสถ)

- การปูกระเบื้องทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวจะต้องเตรียมพื้นให้แน่นแล้วใช้ทรายปูเกลี่ยหนาประมาณ 5 เซนติเมตรแล้วอัด หลังจากนั้นปูกระเบื้องลงไปโดยให้รอยต่อชิดกันหรือห่างกันประมาณ 2 เซนติเมตร ใช้ค้อนยางเพื่อจัดระยะและแนว และใช้ค้อนยางตบให้แน่นโรยกรวดทรายลงร่องระหว่างกระเบื้องให้แน่น ทรายที่เหลือกวาดออก กระเบื้องซีเมนต์อื่นๆ อาจทำใช้ได้เองหรืออาจใช้แผ่นศิลาแลงปูก็ได้

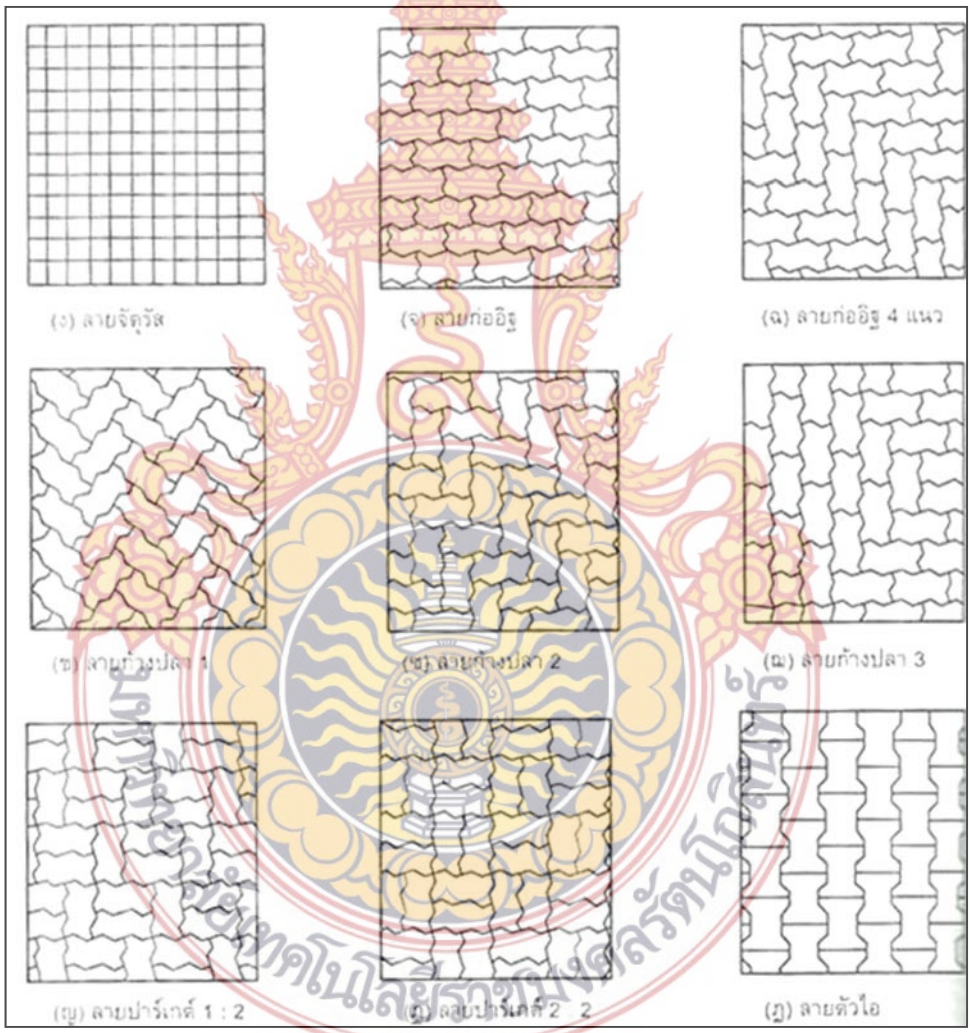
ในรูปที่ 2-4 แสดงการปูกระเบื้องซีเมนต์ฝังหินกรวด ใช้ปูทางเดินในสวน ขนาดที่ใช้อาจเป็น 20, 25, 30 หรือ 40 เซนติเมตร และรูปที่ 2.5 แสดงการปูพื้นด้วยแผ่นซีเมนต์ลูกฟูกขนาด 40 x 40 เซนติเมตร หนา 3เซนติเมตร

รูปที่ 2-4 กระเบื้องซีเมนต์ฝังหินกรวด(ที่มา : หนังสือวัสดุก่อสร้าง หน้า 271 ผู้แต่ง พงศ์พัน วรสุนทโรสถ และ วรพงศ์ วรสุนทโรสถ)

รูปที่ 2-5 แผ่นซีเมนต์ลูกฟูก(ที่มา : หนังสือวัสดุก่อสร้าง หน้า 271 ผู้แต่ง พงศ์พัน วรสุนทโรสถ และ วรพงศ์ วรสุนทโรสถ)



รูปที่ 2-6 ตัวอย่างการใช้ลายซีแพคแผ่นซีเมนต์บล็อก(ที่มา : หนังสือวัสดุก่อสร้าง หน้า 271 ผู้แต่ง พงศ์พัน วรสุนทโรสถ และ วรพงศ์ วรสุนทโรสถ)



รูปที่ 2-7 (ต่อ)ตัวอย่างการใช้ลายซีแพคแผ่นซีเมนต์บล็อก(ที่มา : หนังสือวัสดุก่อสร้าง หน้า 272 ผู้แต่ง พงศ์พัน วรสุนทโรสถ และ วรพงศ์ วรสุนทโรสถ)

2.1.11 กระบวนการผลิตบล็อกปูพื้น

2.1.11.1. ตรวจสอบแผนผลิต เพื่อเตรียมแบบผลิตสินค้าและวัตถุดิบให้พร้อมสำหรับการผลิตสินค้า วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสินค้าประกอบด้วย ปูนซีเมนต์เทา ปูนซีเมนต์ขาว ขี้เถ้าลอย หิน – ทราย น้ำ สีและสารเคมีอื่นๆ โดยจะมีการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบก่อนนำมาใช้ทุกครั้ง และอาจเตรียมวัตถุดิบให้เพียงพอสำหรับการใช้งานในแต่ละวัน

2.1.11.2. ผสมคอนกรีตสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

2.1.11.2.1 ผสมคอนกรีตชั้นตัวก้อน เมื่อตรวจสอบสูตรการผลิตเรียบร้อยแล้ว จะเริ่มการผสมคอนกรีตชั้นตัวก่อน ซึ่งประกอบด้วย ปูนซีเมนต์เทา ปูนซีเมนต์ขาว ขี้เถ้าลอย หิน – ทราย น้ำ ฯลฯ

2.1.11.2.2 ผสมคอนกรีตชั้นผิวหน้า เมื่อตรวจสอบสูตรการผลิตเรียบร้อยแล้ว จะเริ่มการผสมคอนกรีตชั้นผิวหน้า ซึ่งประกอบด้วย ปูนซีเมนต์เทา ปูนซีเมนต์ขาว ขี้เถ้าลอย หิน – ทราย น้ำ ฯลฯ

2.1.11.3. ผลิตสินค้า หลังจากที่ผสมคอนกรีตชั้นตัวก้อนและชั้นผิวหน้าได้ตามที่ต้องการแล้วเครื่องจักรจะลำเลียงคอนกรีตไปที่ชุดสะสมคอนกรีตชั้นตัวก้อนและชั้นผิวหน้าที่ผลิตบล็อกปูพื้น เพื่อใช้ในการผลิตโดยมีลำดับการทำงานดังนี้

2.1.11.4. ป้อนคอนกรีตตัวก้อนลงในแบบผลิต จากนั้นกดคอนกรีตลงในแบบผลิตให้ต่ำกว่าขอบของแบบผลิตลงมาเล็กน้อย โดยระยะที่กดลงในแบบผลิตจะแปรผันไปตามชนิดสินค้าที่ผลิต

2.1.11.5. ป้อนคอนกรีตผิวหน้าลงในแบบผลิต จากนั้นจึงกดอัดคอนกรีตเพื่อให้ได้รูปเป็นก้อนสินค้า

2.1.11.6. ลำเรียงคอนกรีตที่ขึ้นรูปแล้วไปยังห้องบ่มสินค้าโดยคัดเสียออกก่อน เพื่อสินค้ามีคุณสมบัติมาตรฐาน

2.1.11.7. ส่งสินค้าทดสอบสินค้าที่ผลิตในแต่ละล็อต (Lot) ทางโรงงานจะทำการสุ่มส่งทดสอบตามมาตรฐาน มอก. ที่ห้องทดสอบของบริษัท ผลทดสอบผ่านทำการส่งสินค้าเข้ากองเก็บสต็อก ถ้าผลทดสอบไม่ผ่านทำการคัดแยกออกจากสต็อกแล้วติดป้ายห้ามจ่าย

2.111.8. ลำเลียงสินค้าออกจากห้องบ่มสินค้า คัดแยกสินค้าเสียออก และลำเรียงสินค้าออกจากโรงงานไปเก็บไว้ที่ลานเก็บสินค้า

2.1.12 ข้อดีของบล็อกปูพื้น

2.1.12.1. คุณภาพของบล็อกปูพื้น เนื่องจากบล็อกปูพื้นผลิตจากวัตถุดิบที่มีคุณภาพและสามารถควบคุมมาตรฐานการผลิตจากเครื่องจักร อีกทั้งยังมีการทดสอบคุณภาพก่อนนำไปใช้งาน ดังนั้นบล็อกปูพื้นจึงมีขนาด ความแข็งแรงในการรับน้ำหนัก และความทนทานตามมาตรฐานกำหนด

2.1.12.2. ความสวยงาม พื้นบล็อกปูพื้นสามารถทำให้เกิดลวดลายต่างๆ เพื่อความสวยงามตามที่ต้องการได้ โดยอาศัยสีสันและรูปทรงที่หลากหลายของบล็อก นอกจากนั้นยังใช้ความแตกต่างของสีเป็นตัวช่วยในการกำหนดขอบเขต หรือแบ่งพื้นที่ในแต่ละส่วน และใช้เป็นสัญลักษณ์ต่างๆในการควบคุมการจราจรได้

2.1.12.3. ราคา เมื่อเทียบราคาพื้นบล็อกปูพื้นกับบล็อกประเภทอื่น ตลอดอายุการใช้งานแล้วจะพบว่าพื้นบล็อกปูพื้นมีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด พิจารณาราคาก่อสร้างเริ่มแรกจะพบว่าราคาพื้นบล็อกปูพื้นจะอยู่ในช่วงที่เหมาะสมไม่สูงจนเกินไป แต่เมื่อคิดผลตอบแทนระยะยาวไม่ว่าจะเป็นค่า

บำรุงรักษาที่ต่ำ การนำบล็อกปูพื้นที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่และเมื่อเทียบราคาตลอดอายุการใช้งาน จะเห็นได้ว่าบล็อกปูพื้นคุ้มค่าในการลงทุนที่สุด

2.1.12.4. การก่อสร้างและการบำรุงรักษา พื้นบล็อกปูพื้นก่อสร้างง่ายใช้เพียงแรงงานและอุปกรณ์ทั่วๆไป เมื่อก่อสร้างเสร็จสามมารถเปิดใช้งานได้ทันที นอกจากนั้นยังสะดวกในการบำรุงรักษาเพราะซ่อมแซมได้ง่าย สามารถเลือกซ่อมได้เฉพาะบริเวณที่เกิดความเสียหายและบล็อกปูพื้นที่มีการขุดรื้อสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

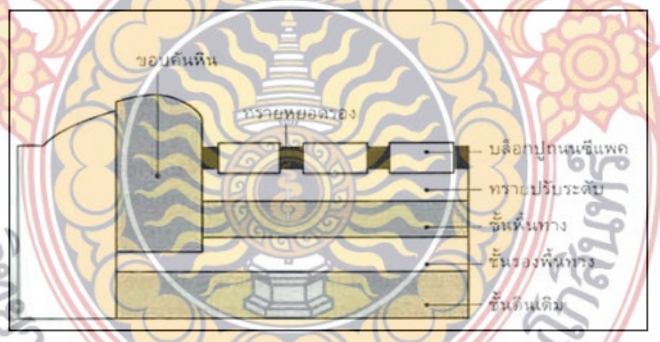
2.1.13 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกปูพื้น อาจแบ่งได้ดังนี้

2.1.13.1. สิ่งแวดล้อม พื้นที่ทั่วไปทุกประเภทมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติซึ่งอาจจะมีประอิทธิพลมาจากสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิเป็นตัวการสำคัญในที่นี้ กล่าวคือ อุณหภูมิจะเป็นสาเหตุหลักของการขยายตัว หดตัวและโก่งตัวในแผ่นพื้นคอนกรีต การป้องกันผลการกระทบเหล่านี้ต้องอาศัยการเสริมกำลังและรอยต่อที่เหมาะสมในกรณีพื้นแอสฟัลต์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ความแข็งแรงของพื้นลดลง ข้อได้เปรียบของบล็อกปูพื้นคือไม่มีผลกระทบจากอุณหภูมิ เพราะการขยายตัวของพื้นบล็อกน้อยกว่าแอสฟัลต์ และพื้นที่ 1.5 %-2.5% ของพื้นบล็อกปูพื้นจะประกอบด้วยรอยต่อซึ่งมากเพียงพอสำหรับการขยายตัว

2.1.13.2. การแอ่นตัวของพื้น ในพื้นคอนกรีตและพื้นแอสฟัลต์ต้องจำกัดการแอ่นตัวที่พื้นผิวโดยทั่วไปกำหนดไว้ที่ 0.5 มิลลิเมตร เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกร้าวของผิว เนื่องจากพื้นบล็อกปูพื้นมีรอยต่อระหว่างก้อนจึงไม่มีผลกระทบเกี่ยวกับการแตกร้าวเนื่องจากการแอ่นตัวเหมือนพื้นประเภทอื่น

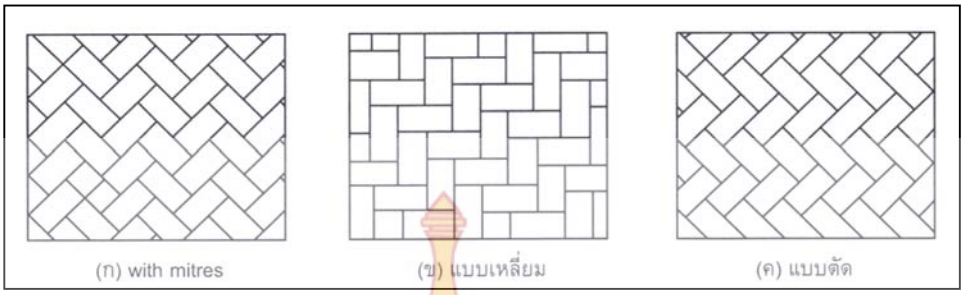
2.1.14 โครงสร้างของบล็อกปูพื้น

โครงสร้างทั่วไปของบล็อกปูพื้น ลักษณะและการก่อสร้างคล้ายคลึงกับบล็อกประเภทอื่น โดยเฉพาะพื้นแอสฟัลต์จะมีข้อแตกต่างเรื่องความหนาของโครงสร้างแต่ละชั้นขึ้นอยู่กับการรับน้ำหนักลักษณะการใช้งานของพื้น



รูปที่ 2-8 โครงสร้างของบล็อกปูพื้น(ที่มา : หนังสือวัสดุก่อสร้าง หน้า 275 ผู้แต่ง พงศ์พัน วรสุนทโรสถ และ วรพงศ์ วรสุนทโรสถ)

2.1.14.1. บล็อกปูพื้น ที่ใช้เป็นผิวพื้นต้องมีความแข็งแรงและทนต่อการขัดสี (Abrasion) ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม สำหรับพื้นในงานที่มีการจราจรสูงหรือต้องรับน้ำหนักมากๆ เช่นถนนที่จอดรถบรรทุก ท่าเรือ ลานกองเก็บสินค้า ฯลฯ ควรใช้บล็อกปูพื้นที่มีความหนา 10 เซนติเมตร (สำหรับงานตกแต่งหรือพื้นรับน้ำหนักมาก อาจใช้บล็อกปูพื้นหนาเพียง 6 เซนติเมตรได้) เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักควรเลือกรูปแบบลวดลายในการปูมีลักษณะการขัดประสานที่ดี คือบล็อกคดกริช (UNI) และรูปแบบลายก้างปลา (Herringbone)



รูปที่ 2-9 รูปแบบของบล็อกปูพื้น(ที่มา : หนังสือวัสดุก่อสร้าง หน้า 275 ผู้แต่ง พงศ์พัน วรสุนทโรสถ และ วรพงศ์ วรสุนทโรสถ)

2.1.14.2. ขอบคันหิน (Curb Stone) เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องใช้ควบคู่กับการปูบล็อก เพราะช่วยบังคับให้บล็อกปูพื้นแต่ละก้อนยึดเกาะกันได้ดี ไม่เคลื่อนออกจากกันเมื่อต้องรับน้ำหนัก และยังช่วยกันทรายปรับระดับที่รองรับอยู่ใต้บล็อกไม่ให้ไหลหนีออกจากด้านข้าง ทำให้การถ่ายน้ำหนักระหว่างบล็อกสมบูรณ์ขึ้น

2.1.14.3. ทรายปรับระดับและทรายหยอดร่อง มีโครงสร้างลักษณะการใช้งานดังนี้

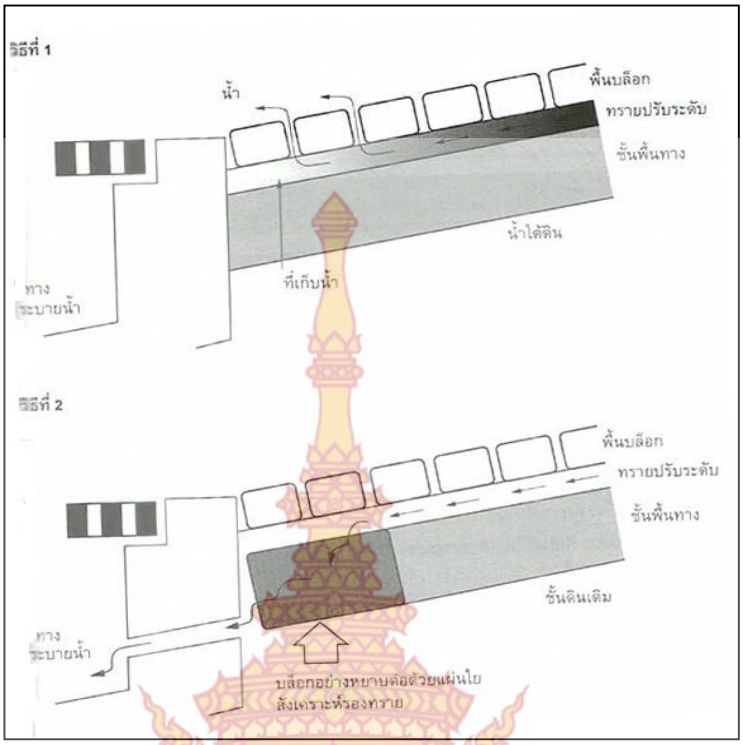
2.1.14.3.1 ทรายปรับระดับ ใช้เพื่อปรับระดับในการปูบล็อกมีความเรียบสม่ำเสมอ และช่วยป้องกันการแตกร้าวของบล็อกปูพื้นเมื่อมีการรับน้ำหนัก นอกจากนั้นถ้าทรายมีขนาดคละที่เหมาะสมจะช่วยในการระบายน้ำใต้ผิวบล็อกได้ดี

2.1.14.3.2 ทรายหยอดร่อง เป็นทรายที่มีขนาดละเอียดกว่าทรายปรับระดับ ช่วยให้การขัดและสานระหว่างก้อนบล็อกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มความยึดหยุ่นให้แก่บล็อกปูพื้น

2.1.14.4. ชั้นพื้นทางและชั้นรองพื้นทาง เป็นชั้นดินที่มีหน้าที่กระจายน้ำหนักของยวดยานจากผิวพื้นลงสู่ดินเดิม โดยไม่ทำให้ชั้นดินเดิมดังกล่าวเกิดความเสียหาย ซึ่งความสามารถที่กล่าวมานั้นขึ้นอยู่กับความหนาและ

2.1.14.5. ชั้นดินเดิม เป็นดินเดิมในบริเวณก่อสร้างและเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการรับน้ำหนักของพื้นบล็อกปูพื้น คุณสมบัติชั้นดินเดิมที่สำคัญคือ ความสามารถในการระบายน้ำและความแข็งแรง (ค่า CBR (%)) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับประเภทของดินในการก่อสร้างควรเตรียมชั้นพื้นดินเดิมให้เหมาะสมโดยมีการปรับระดับและบดอัดให้แน่นเรียบ ตามมาตรฐานการบดอัด

2.1.14.6. การระบายน้ำ ในช่วงแรกของการใช้งานพื้นบล็อกปูพื้นบริเวณรอยต่อระหว่างก้อนบล็อกนั้นน้ำสามารถระบายน้ำลงไปได้ น้ำที่ซึมลงจะไปทำลายความแข็งแรงของโครงสร้างพื้นดังนั้นระบบพื้นควรมีการระบายน้ำที่ดี ซึ่งอาจอาศัยคุณสมบัติของทรายในการระบายน้ำ เนื่องจากทรายมีคุณสมบัติในการซึมผ่านได้ดี วิธีง่ายๆที่จะช่วยระบายน้ำ มีวิธีการดังแสดงในรูปที่ 2-10



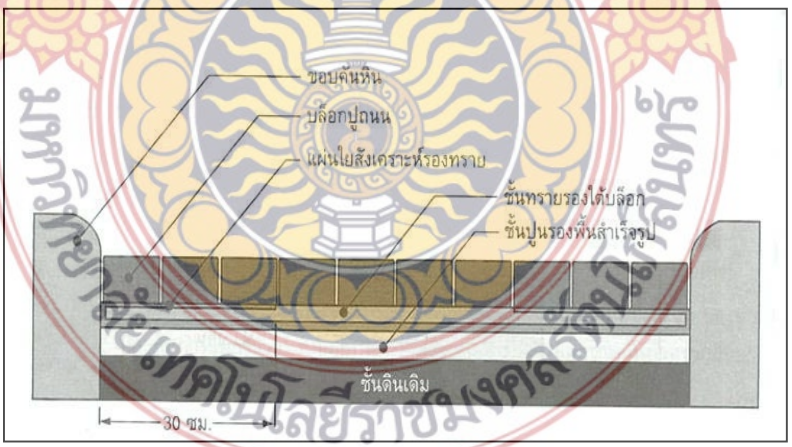
รูปที่ 2-10 การระบายน้ำของงานพื้นบล็อกปูพื้น(ที่มา : หนังสือวัสดุก่อสร้าง หน้า 277 ผู้แต่ง พงศ์พัน วรสุนทโรสถ และ วรพงศ์ วรสุนทโรสถ)

2.1.14.7. วัสดุเสริมแรงดิน คือวัสดุที่นำมาเสริมในโครงสร้างพื้นบล็อกปูพื้นเพิ่มกำลังรับน้ำหนักและประสิทธิภาพการใช้งานของพื้นซึ่งวัสดุที่กล่าวถึงประกอบด้วย

2.1.14.8. ปูรองพื้นสำเร็จรูป

2.1.14.9. ตาข่ายเสริมแรงดิน

2.1.14.10. แผ่นใยสังเคราะห์ของทราย



รูปที่ 2-11 โครงสร้างพื้นบล็อกปูพื้นที่มีวัสดุเสริมแรงดัน(ที่มา : หนังสือวัสดุก่อสร้าง หน้า 278 ผู้แต่ง พงศ์พัน วรสุนทโรสถ และ วรพงศ์ วรสุนทโรสถ)

สำหรับแผ่นใยสังเคราะห์ของทรายเรียกว่า Geotextile น้ำผลิตมาจากเส้นใยโพลีโพรพีลีน (Polypropylene) หรือโพลีแอสเตอร์ (Polyester) มีลักษณะโครงสร้าง 3 มิติ ทนต่อน้ำมันความร้อน

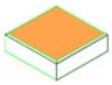
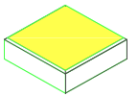
และความเป็นกรด ด่าง ปัจจุบันมีการใช้แผ่นใยสังเคราะห์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะกับถนนที่ไม่ได้ลาดยางซึ่งแผ่นใยสังเคราะห์จะถูกไว้ระหว่างชั้นรองพื้นทางกับชั้นดินเดิม โดยวัสดุรองพื้นทางจะเป็นวัสดุพวกส่วนผสมคอนกรีต (Aggregate) เป็นส่วนใหญ่ โดยประโยชน์ของใยสังเคราะห์มีอยู่หลายประการ ดังนี้

1. ช่วยในการแบ่งแยกวัสดุระหว่างชั้นรองพื้นทางกับชั้นดินเดิม
2. ด้วยลักษณะที่เป็นเส้นใยช่วยในการกรองวัสดุที่มีอนุภาคเล็กๆได้
3. ช่วยในการระบายน้ำ
4. ช่วยปรับปรุงคุณลักษณะถนนให้ดีขึ้น

2.1.15 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.827-2531 นี้กำหนด ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ส่วนประกอบและการทำ คุณลักษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

ตารางที่ 2-4 ผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป PRECAST CONCRETE PRODUCTS

ประเภทผลิตภัณฑ์	ตรายี่ห้อ	มาตรฐาน	ข้อมูลรายการประกอบแบบ		
ผลิตภัณฑ์ PRODUCT	มาตรฐาน STANDARD	ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) NOMINAL SIZE (cm.)	รายละเอียด น้ำหนัก UNIT WEIGHT kg./pcs.	จำนวนใช้งาน No. pcs./$m.^2$	สี COLOR
กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (CONCRETE FLOORING TILES) 	มอก.378-2531	30 x 30 x 3 40 x 40 x 4	6.5 15.4	10.9 6.3	เทาปูน ดำ, น้ำตาล เหลือง, แดง
กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น (CEMENT MOTAR FLOORING TILES) 	มอก.826-2531	30 x 30 x 4 30 x 30 x 5 30 x 30 x 6 40 x 40 x 4 40 x 40 x 5 40 x 40 x 6	8.6 10.8 13.0 15.4 19.2 23.0	10.9 10.9 10.9 6.3 6.3 6.3	เทาปูน, ดำ, น้ำตาล, เหลือง, แดง
คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (CONCRETE PAVING BLOCKS) รูปร่างแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส	มอก.827-2531	8.0 x 8.0 x 6 9.5 x 9.5 x 6 19.6 x 19.6 x 6 29.5 x 29.5 x 6	0.9 1.3 5.5 12.5	156.3 110.3 26.0 10.9	เทาปูน, ดำ, น้ำตาล, เหลือง, แดง
รูปร่างแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า		9.7 x 19.7 x 6 19,7 x 29.5 x 6	2.8 8.4	51.5 16.5	
รูปร่างแบบคดกริช		11.2 x 22.0 x 6 11.2 x 22.0 x 8	3.5 4.7	40.1 40.1	
รูปร่างแบบคฑา		13.7 x 19.3 x 6	2.7	51.0	
รูปร่างแบบตัวไอ		16.5 x 21.0 x 6	4.2	35.5	
รูปร่างแบบศิลาหกเหลี่ยม		11.3 x 19.3 x 6	22.2	59.5	
รูปร่างแบบศิลาแปดเหลี่ยม		19.3 x 19.3 x 6	4.4	2.5 ใช้ร่วมกับแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส	
คันหินใหญ่ทรงมน ROUND BIG CURB		30 x 100 x 15	95.0		เทาปูน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายในขนาด 30x30 ซม.	กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายในตราช้าง	มอก. 379-2543	กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายใน ขนาด 30x30 ซม. ความหนา 2.5 ซม. (ความคลาดเคลื่อน +3 มม., -0 มม.) ลาย ..... (ตามระบุในแคตตาล็อก) ความต้านแรงดัดตามขวางไม่น้อยกว่า 3 MPa. การดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนัก มอก. 379-2543 ตราช้าง ของ บจก.สระบุรีรัชต์ การติดตั้งตามมาตรฐานผู้ผลิต
กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายใน ขนาด 40x40 ซม., 50x50 ซม. (สั่งผลิต)	กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายใน ตราช้าง	มอก. 379-2543	กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายใน ขนาด ขนาด 40x40 ซม. ความหนา 2.8 ซม. (ความคลาดเคลื่อน +3 มม., -0 มม.) 50x50 ซม. ความหนา 3 ซม. (ความคลาดเคลื่อน +3 มม. , -0 มม.) ลาย .....(ตามระบุในแคตตาล็อก) ความต้านแรงดัดตามขวางไม่น้อยกว่า3 MPa. การดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนัก มอก.379-2543 ตราช้าง ของ บจก.สระบุรีรัชต์ การติดตั้งตามมาตรฐานผู้ผลิต
กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายใน ขนาด 60x60 ซม. (สั่งผลิต)	กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายในตราช้าง	-	กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายใน ขนาด 60x60 ซม. ความหนา 3 ซม. ลาย ..... (ตามระบุในแคตตาล็อก) ความต้านแรงดัดตามขวางไม่น้อยกว่า 3 MPa. การดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนักตราช้าง ของ บจก.สระบุรีรัชต์ การติดตั้งตามมาตรฐานผู้ผลิต
กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายนอก	กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายนอกตราช้าง	มอก. 378-2531, 826-2531	กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายใน ขนาด 60x60 ซม. ความหนา 3 ซม. ลาย ..... (ตามระบุในแคตตาล็อก) ความต้านแรงดัดตามขวางไม่น้อยกว่า 3 MPa. การดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนัก ตราช้าง ของ บจก.สระบุรีรัชต์ การติดตั้งตามมาตรฐานผู้ผลิต
	กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายนอกตราช้าง		กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นภายนอก ลาย ..... (ตามระบุในแคตตาล็อก) ขนาด 30x30 ซม., 40x40 ซม.(ความคลาดเคลื่อน +3มม.) ความหนา 3.5 ซม. (ความคลาดเคลื่อน +3 มม.) ความต้านแรงดัดตามขวางไม่น้อยกว่า 3 MPa. (มอก.378-2531) และ 5 MPa.(มอก.826-2531) การดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักตราช้าง ของ บจก.สระบุรีรัชต์ การติดตั้งตามมาตรฐานผู้ผลิต
รั้วคอนกรีตสำเร็จรูป	รั้วคอนกรีตสำเร็จรูปตราช้าง	-	รั้วคอนกรีตประกอบด้วยผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ความหนาเฉลี่ย 5 ซม. เสาคอนกรีตสำเร็จรูป และ ทับหลังคอนกรีตสำเร็จ ผลิตด้วยขบวนการผลิตแบบคอนกรีตอัดแรง ที่มีค่ากำลังอัดประลัยไม่น้อยกว่า 350 กก./ตร.ซม. และลวดแรงดึงสูงสำหรับคอนกรีตอัดแรง สำหรับเสาที่รับน้ำหนักจะมีการเสริมเหล็ก SD40 สำหรับเหล็กแกน และ SR24 สำหรับเหล็กปลอก ติดตั้งด้วยวิธีใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูป (ตอกเสาเข็ม, ไม่ตอกเสาเข็ม) โดยติดตั้งตามมาตรฐานของผู้ผลิต ตราช้าง ของ บจก.เอสซีจี แลนด์สเคป การติดตั้งตามมาตรฐานผู้ผลิต
บล็อกปูพื้นรูปคดกริช, ตัวไอ, รวงผึ้ง, คฑา, จัตุรัส, อัฐศิลา, ศรศิลา, ศิลาหกเหลี่ยม	บล็อกปูพื้น ตราช้าง	มอก. 827-2531	คอนกรีตบล็อก ชนิดความหนาชั้นผิวหน้าไม่น้อยกว่า 5 มม.ความหนา 6 ซม.มีความต้านแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 35 MPa.(ประมาณ 350 กก./ตร.ม.) และความหนา 10 ซม. มีความต้านแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 40 MPa. (ประมาณ 400 กก./ตร.ม.)รูปร่าง...(ตามระบุในแคตตาล็อก) สี ..... (ตามระบุในแคตตาล็อก) มอก. 827-2531 ตราช้าง ของ บจก.เอสซีจี แลนด์สเคปการติดตั้งตามมาตรฐานผู้ผลิต

ตารางที่ 2-5 ผลิตภัณฑ์และมาตรฐานของคอนกรีตสำเร็จรูป PRECAST CONCRETE PRODUCTS

2.1.16 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1.16.1 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ซึ่งต่อไปมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “บล็อก” หมายถึงก้อนคอนกรีตตันที่สามารถนำมาวางเรียงประสานได้อย่างต่อเนื่อง มีสีตามธรรมชาติ หรืออาจมีผงเจือปนอยู่ทั้งบล็อกหรือเฉพาะที่ชั้นผิวหน้าและจะมีรูปร่างแบบใดก็ได้ เหมาะสำหรับใช้ปูพื้น เช่น ถนน ทางเท้า ลานจอดรถ และลานกองเก็บวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบโครงสร้างชั้นพื้นและชั้นรองพื้น ให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งาน

2.1.16.2 ชั้นผิวหน้า หมายถึง ชั้นผิวของบล็อกส่วนที่รับการเสียดสี และอาจมีการหลบมุมด้วยก็ได้

2.1.16.3 ความได้ฉาก (squareness) หมายถึง ความได้ฉากของด้านข้างโดยรอบกับพื้นผิวล่างของบล็อก และการขนานกันของพื้นผิวหน้ากับพื้นผิวล่าง

2.1.17 ขนาดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

2.1.17.1 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของบล็อก ให้เป็นไปตามตารางที่ 2-3

2.1.17.2 การลบมุม (ถ้ามี) ต้องไม่เกิน 7 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2-6 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของบล็อก หน่วยเป็น มิลลิเมตร

มิติ	เกณฑ์ที่กำหนด	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ความกว้างและความยาว	ไม่เกิน 295	± 2
ความหนา	60	± 2
	80	
	100	± 3
	120	
ความหนาของชั้นผิวหน้า (เฉพาะชั้นผิวหน้าที่ทำเป็นสี)	ต่ำสุด 3	

รูปที่ 2-12 การลบมุม

(ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกปูพื้น มอก. 827-2531 หน้า 3)

2.1.18 ส่วนประกอบและการทำ

2.1.18.1 ส่วนประกอบ

2.1.18.2 ปูนซีเมนต์ให้ใช้ปูนซีเมนต์อย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

2.1.18.3 ให้ใช้ปูนซีเมนต์ ที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม 1

2.1.18.4 ปูนซีเมนต์ผสม ที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ผสม มาตรฐาน เลขที่ มอก.80

2.1.18.5 มวลผสม

2.1.18.6 ผงสี (ถ้ามี) ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผงสี (ในกรณีที่ยังไม่มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม BS 1014)

2.1.18.7 สีซีเมนต์ (ถ้ามี) ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีซีเมนต์ มาตรฐานเลขที่ มอก. 469

2.1.18.8 น้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำสะอาด

2.1.18.9 ส่วนผสมอื่นๆ (ถ้ามี)ต้องไม่มีผลเสียหายต่อการใช้งานของบล็อก

2.1.18.10 การทำใช้เครื่องอัดและ/หรือเขย่าส่วนประกอบต่างๆ ให้เป็นแผ่น ถ้าชั้นผิวหน้าทำเป็นสี น้ำหนักของผงสีที่ผสมต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสมของชั้นผิวหน้านั้นในกระบวนการผลิต ต้องทำให้ชั้นผิวหน้าติดกับตัวก้อนในเวลาที่ต่อเนื่อง เมื่อนำบล็อกออกจากแม่พิมพ์แล้ว ให้นำไปบ่มด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม

2.1.19 คุณลักษณะที่ต้องการ

2.1.19.1 ลักษณะทั่วไปบล็อกต้องมีเนื้อแน่น ไม่ร้าว และสีของชั้นผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

2.1.19.2 ความได้ฉาก

2.1.19.3 บล็อกที่มีเกณฑ์ที่กำหนดความหนาไม่เกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากได้ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร

2.1.19.4 บล็อกที่มีเกณฑ์กำหนดของความหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

2.1.19.5 ความต้านแรงอัดความต้านแรงอัดของบล็อกแต่ละก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 35 MPaและค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 40 MPa

2.1.20 เครื่องหมายและฉลาก

2.1.20.1 ให้ทำเครื่องหมายและฉลากดังต่อไปนี้

2.1.20.2 ที่บล็อกทุกก้อน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือทำเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็น และได้ง่าย ชัดเจน

2.1.20.3 ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

2.1.20.4 ที่แถบวัสดุที่ใช้ผูกมัดบล็อกเข้าด้วยกันเป็นหน่วยทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีตัวเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

2.1.20.5 ความกว้าง x ความยาว x ความหนา เป็น mm.

2.1.20.6 จำนวน

2.1.20.7 ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

หมายเหตุ การผูกบล็อกเข้าด้วยกันเป็นหน่วยแต่ละหน่วยต้องขนย้ายได้ทั้งหน่วยโดยไม่แยกจากกัน กำหนดไว้ข้างต้น

2.1.20.8 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

2.1.21 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

2.1.21.1 รุ่นในที่นี้ หมายถึง บล็อกที่มีขนาด รูปร่าง และสีเดียวกันทำขึ้นโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือ ส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

2.1.21.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

2.1.21.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด (ยกเว้นความหมายของชั้นผิวหน้า)ลักษณะทั่วไปและความได้ฉาก

2.1.21.4 ใช้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน ตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ 2-17

2.1.21.5 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อที่2.1.19.3 (ยกเว้นความหนาชั้นผิวหน้า) ในแต่ละรายการ ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดใน ตารางที่ 2-7 จึงจะถือว่าบล็อกรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

2.1.21.6 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบขนาด (เฉพาะความหนาของชั้นผิวหน้า) และความต้านทานแรงอัด

2.1.21.7 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากตัวอย่างที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในเรื่องขนาด (ยกเว้นความหนาของชั้นผิวหน้า) ลักษณะทั่วไป และความได้ฉากแล้ว จำนวน 5 ก้อน แล้วนำไปทดสอบความต้านทานแรงอัด และขนาด (เฉพาะความหนาของชั้นผิวหน้า) ตามลำดับ

2.1.21.8 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 2.1.19.3 (เฉพาะความหนาของชั้นผิวหน้า) จึงจะถือว่าบล็อกรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 2-7 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาด (ยกเว้นความหนาของชั้นผิวหน้า)

ขนาดรุ่นก้อน	ขนาดตัวอย่างก้อน	เลขประจำตัวที่ยอมรับ
ไม่เกิน 10,000	5	0
10,001 ถึง 35,000	20	1
35,001 ถึง 150,000	32	2
ตั้งแต่ 150,001 ขึ้นไป	50	3

2.1.21.9 เกณฑ์ตัดสินตัวอย่างบล็อกต้องเป็นไปตามข้อ ก) ทุกข้อ จึงจะถือว่าบล็อกรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

2.1.22 การทดสอบบล็อกที่นำมาทดสอบต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 7 วัน

2.1.22.1 มิติ

2.1.22.2 ความกว้างและความยาวใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1.0 มิลลิเมตร วัดความกว้างและความยาวของบล็อกตัวอย่างบริเวณที่กว้างและยาวมากที่สุด

2.1.22.3 ความหนา

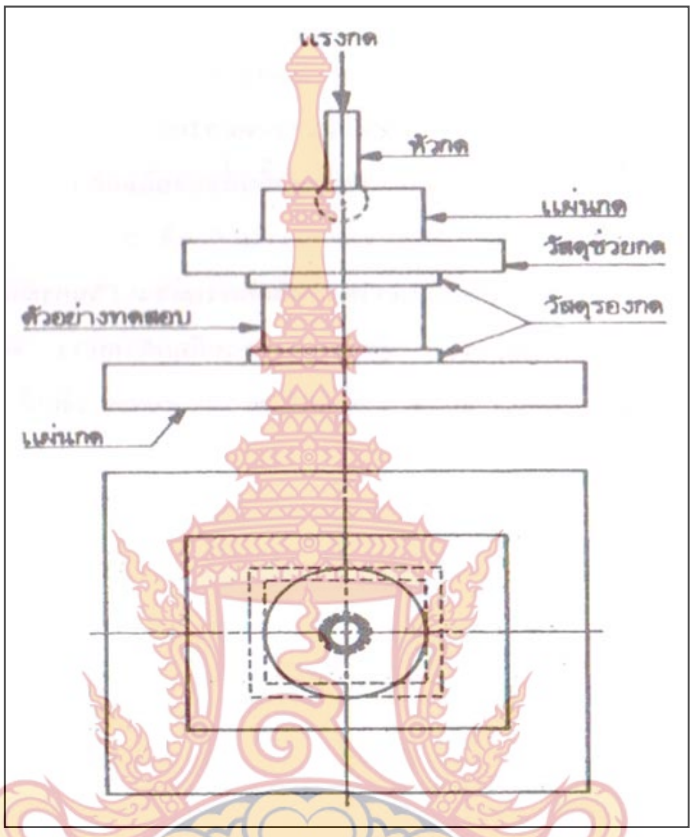
2.1.22.4 ความหนาของบล็อกใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1.0 มิลลิเมตร วัดความกว้างและความยาวของบล็อกตัวอย่าง (รวมชั้นผิวหน้า) 4 แห่ง แล้วรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

2.1.22.5 ความหนาของชั้นผิวหน้าหักบล็อกตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบความต้านแรงอัดแล้วเป็น 2 ชิ้น แล้ววัดความหนาของชั้นผิวหน้าของชิ้นตัวอย่างด้วยเครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร โดยวัดอย่างน้อย 4 แห่ง

หมายเหตุ ชิ้นตัวอย่างที่นำมาวัดความหนาของชั้นผิวหน้า อย่างน้อยต้องมีพื้นที่ 1 ใน 4 ของชิ้นตัวอย่างเต็มก้อน และตำแหน่งที่วัดแต่ละตำแหน่งควรเป็นบริเวณที่มีตำแหน่งควรเป็นบริเวณที่มีความหนาของชั้นผิวหน้าสม่ำเสมอ และไม่เป็นบริเวณที่มีการลบมุม

1. การลบมุม (ถ้ามี)ใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง1.0 มิลลิเมตร
2. ความได้ฉาก
3. ความได้ฉากของด้านข้าง โดยราบกับพื้นผิวล่างของบล็อก
4. เครื่องมือและอุปกรณ์
5. พื้นเรียบสม่ำเสมอและได้ระดับ
6. เครื่องวัดแบบสอด
7. เหล็กฉาก
8. วิธีวัดความเบี่ยงเบน ของความได้ฉากของด้านข้างกับพื้น ผิวล่างของบล็อกตัวอย่างทุกๆด้าน ด้านละ 1 แห่ง
9. ความได้ฉากของพื้นผิวหน้ากับพื้นผิวล่างของบล็อก
10. เครื่องมือและอุปกรณ์
11. พื้นเรียบสม่ำเสมอและได้ระดับ
12. เครื่องวัดแบบมีหน้าปัด และขาตั้ง
13. วิธีวัดวางบล็อกตัวอย่างด้านที่เรียบและสม่ำเสมอบนพื้นเรียบสม่ำเสมอและได้ระดับ และใช้เครื่องวัดแบบมีหน้าปัด วัดความเบี่ยงเบนของความได้ฉากของพื้นผิวหน้ากับพื้นผิวล่าง
14. ความต้านแรงอัด
15. เครื่องมือ
16. เครื่องทดสอบแรงกดที่ให้แรงกดได้ไม่น้อยกว่า 1,000 kN และสามารถปรับความเร็วในการเพิ่มแรงกดได้
17. แผ่นกด (ดังตัวอย่างในรูป 2-13) แผ่นกดแต่ละแผ่นต้องหนาไม่น้อยกว่า12 มิลลิเมตร ทำด้วยวัสดุที่มีความแข็งไม่น้อยกว่า 60 HRC สำหรับแผ่นกดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร

18. วัสดุช่วยกด (ดังตัวอย่างในรูปที่ 2-13) ในกรณีที่พื้นที่ของแผ่นกดแผ่นบน ไม่ครอบคลุมพื้นที่ของบล็อกตัวอย่างได้ทั้งหมด และใช้วัสดุช่วยกดที่หนาไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร และมีความแข็งไม่น้อยกว่า 60 HRC ช่วยกด



รูปที่ 2-13 ตัวอย่างแผ่นกด วัสดุช่วยกดและวัสดุรองกด และตำแหน่งทดสอบ
(ที่มา : มาตรฐานผลิตฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกปูพื้น มอก. 827-2531 หน้า 13)

2.1.22.6 วัสดุรองกด (ดังตัวอย่างในรูปที่ 2-13) วัสดุรองกดที่ใช้ต้องเป็นกระดาษแข็งหรือไม้อัด หรือไม้เนื้ออ่อน หรือแผ่นยาง หนาไม่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร และต้องมีพื้นที่ครอบคลุมพื้นที่ของบล็อกตัวอย่าง

2.1.22.7 วิธีการทดสอบ

2.1.22.8 จัดแนวศูนย์กลางของบล็อกตัวอย่าง (ในกรณีที่มีรูปทรงสมการศูนย์กลางของบล็อกตัวอย่าง คือจุดรวมมวล) หัวกด แผ่นกด และวัสดุช่วยกด (ถ้ามี) ให้อยู่ในแนวเดียวกัน

2.1.22.9 กดบล็อกตัวอย่าง โดยเพิ่มแรงกดสูงสุดที่คาดว่าบล็อกตัวอย่างจะรับได้ภายในเวลา 1 ถึง 2 นาที บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างจะรับได้

2.1.22.10 วิธีคำนวณ

คำนวณค่าความต้านทานแรงอัดของบล็อก เป็นเมกะพาสคัลจากสูตร

$$P = (FxC)/A$$

เมื่อ P คือ ความต้านทานแรงอัด เป็น MPa
F คือ แรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างรับได้ เป็น N
C คือ ตัวประกอบปรับค่าความต้านแรงอัด
A คือ พื้นที่ผิวหน้าที่รับแรงกดของบล็อกตัวอย่าง เป็น m^2

หมายเหตุ ในกรณีที่คำนวณพื้นที่ผิวหน้าที่รับแรงกดของบล็อกตัวอย่างได้ยาก อาจใช้วิธีการหาพื้นที่ดังนี้ วางแผ่นพลาสติกใส ทาบบนผิวหน้าบล็อกตัวอย่าง ใช้ปากกาเขียนพลาสติกขีดตามเส้นรอบรูปของผิวหน้า แล้วนำแผ่นพลาสติกใสไปลอกลงบนกระดาษการ์ดขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร ด้วยกระดาษคาร์บอน หลังจากนั้นใช้กรรไกรตัดตามเส้นที่ยึดไว้อย่างประณีต แล้วนำแผ่นกระดาษการ์ดที่ได้ไปชั่ง และอ่านค่าให้ละเอียดถึง 0.01 g. แล้วคำนวณหาพื้นที่

จากสูตร $A = 20,000\ M/M1$

เมื่อ A คือ พื้นที่ผิวหน้าที่รับแรงกด ของบล็อกตัวอย่าง เป็นm^2
M คือ มวลของกระดาษการ์ด ที่แสดงพื้นที่ผิวหน้าแบบเดียวกับบล็อกตัวอย่างเป็น g.
M1 คือ มวลของกระดาษการ์ด รูปสี่เหรี่ยมผืนผ้า เป็น g.

ตารางที่ 2-8 ตัวประกอบปรับค่าความต้านทางแรงอัด

ความหนาบล็อก mm.	ตัวประกอบปรับค่าความต้านแรงอัด	
	ไม่มีการลบมุม	มีการลบมุม
60	1.00	1.03
80	1.12	1.18
100	1.18	1.24
120	1.21	1.27

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(ก้องเกียรติ อัมพรจินดารัตน์ และคณะ,2549) ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาใช้ตะกรันเหล็กไนต์เป็นมวลรวมในการทำบล็อกปูถนน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ตะกรันลิกไนต์เป็นมวลรวมในการทำบล็อกปูถนน โดนนำเถ้าตะกรันเถ้าลิกไนต์มาเป็นวัสดุทดแทนหินฝุ่น ที่อัตราส่วนการแทนที่หินต่อตะกรันเถ้าลิกไนต์ เท่ากับ 100:0 , 90:10 , 80:20 , 70:30 และ 60:40 โดยน้ำหนักทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีตมาตรฐาน มอก. 109-2517 คุณสมบัติที่ทดสอบประกอบด้วย คุณสมบัติทางเคมี หน่วยน้ำหนัก ค่าปริมาณความชื้น การทดสอบการดูดซึมน้ำ การทดสอบกำลังอัดและความคงทนสภาวะเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อกปูถนน จากการทดสอบพบว่าร้อยละการแทนที่เถ้าตะกรันในคอนกรีตบล็อกปูถนนที่ 10 และ 20 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน มอก. 57-2530 ในขณะที่อัตราแทนที่ของตะกรันลิกไนต์มากขึ้นค่าการดูดซึมน้ำและปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้น และความคงทนของคอนกรีตบล็อกปูถนนในสภาวะเปียกสลับแห้งไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในทุกอัตราส่วน

(ประชุม คำพุฒ และคณะ,2550) ได้ทำการวิจัยเรื่องบล็อกประสานปูพื้นลดอุณหภูมิโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากบล็อกปูพื้นเพื่อลดอุณหภูมิภายนอกอาคารที่ทำการออกแบบให้เป็นบล็อกประกอบ 2 ชั้น เมื่อนำบล็อกที่ได้ไปทดสอบอุณหภูมิผิวหน้าด้วยอินฟาเรดเทอร์โมมิเตอร์ เปรียบเทียบกับบล็อกปูพื้น ชนิดอื่น ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะ พบว่าลักษณะพื้นที่แห้ง แผ่นบล็อกประกอบที่ชั้นล่างเป็นอิฐมอญตันอุณหภูมิผิวต่ำสุด ส่วนลักษณะพื้นที่เปียก ศิลาแลงมีอุณหภูมิผิวต่ำสุด และในพื้นที่ความชื้น บล็อกประกอบที่ชั้นล่างเป็นอิฐมวลเบามีอุณหภูมิผิวต่ำสุด ซึ่ง สรุปโดยรวมแล้วได้ว่าบล็อกประกอบที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นมา สามารถช่วยลดอุณหภูมิผิวหน้าได้ดีกว่าวัสดุอื่น ในทุกสภาพแวดล้อม จึงมีแนวโน้มที่จะนำไปพัฒนาและผลิตเป็นบล็อกปูพื้นสำหรับลดอุณหภูมิบริเวณภายนอกอาคารต่อไป

(ไชยยันต์ ชัยจักร และคณะ,2550) ได้ทำการศึกษา การผลิตบล็อกมวลเบาจากกากอุตสาหกรรมรีไซเคิลเหล็ก บทความนี้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาโดยการใช้ตะกรันจากอุตสาหกรรมรีไซเคิลเหล็กเป็นมวลรวมหยาบเพื่อทดแทนการใช้หินโดยมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์และเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสาน ในการทดลองวัสดุประสานจะประกอบด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าถ่านหินในอัตราส่วน 60:40 และ 40:60 และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 นอกจากนี้ยังกำหนดให้วัสดุประสานมีปริมาตรร้อยละ 40 , 55 และ 70 ของช่องว่างมวลรวม การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกมวลเบาเป็นไปตาม มอก. 58-2530 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การใช้วัสดุประสานที่มีอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าถ่านหิน 40:60 แทนที่ช่องว่างระหว่างมวลรวมในอัตราร้อยละ 70 สามารถให้ค่ากำลังอัดได้เท่ากับ 44.80 และ 68.73 กก/ซม^2 ที่อายุ 3 และ 28 วัน ตามลำดับและมีค่าโมดูลัสการแตกหักเท่ากับ 10.71 กก/ซม^2 ที่อายุ 28 วัน นอกจากนี้ยังมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำเพียง 0.089 วัตต์/เมตร/องศาเซลเซียส โดยมีความหนาแน่นเท่ากับ 1380 กก/ลบ.ม

(กิตติพงษ์ สุวีโร และคณะ,2551) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาอิฐปูพื้นลดอุณหภูมิภายนอกอาคารโดยใช้ฟองน้ำเป็นวัสดุ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาพัฒนาสมบัติการรับกำลังของอิฐปูพื้นลดอุณหภูมิภายนอกอาคารและให้มีประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิผิวหน้าอิฐที่ดีเหมือนอิฐปูพื้นลดอุณหภูมิแบบเดิมที่มีชั้นหินล้างโดยการทดลองครั้งนี้ใช้ฟองน้ำทรงลูกบาศก์ 3 ขนาด 0.40x0.40x0.40 ลบ.มม.ขนาด 0.80x0.80x0.80 ลบ.มม. และขนาด 1.20x1.20x01.20 ลบ.มม. มาคละในอัตราส่วนที่เท่ากัน แล้วนำไปผสมลงในอิฐปูพื้นปริมาณเท่ากับ 1 , 1.5 และ 2 โดยปริมาตร ตามลำดับ โดยผสมรวมกับหินเกล็ดสีเหลืองทองและทำตามกรรมวิธีของหินล้างที่ผิวหน้า จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ กำลังอัด กำลังดัด ตามมาตรฐาน มอก. แล้วทดสอบอุณหภูมิที่ผิวหน้าอิฐด้วยอินฟาเรดเทอร์โมมิเตอร์ ผลการทดสอบพบว่าเมื่อฟองน้ำในปริมาณมากขึ้นมีผลทำให้อัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น และค่ากำลังอัดและกำลังดัดมีแนวโน้มลดลง แต่โดยเฉลี่ยแล้วค่าการรับกำลังที่มีค่าสูงกว่าอิฐปูพื้นลดอุณหภูมิแบบเดิม นอกจากนี้อุณหภูมิผิวหน้าของอิฐปูพื้นลดอุณหภูมิที่มีฟองน้ำเป็นวัสดุผสมมีค่าที่ดีกว่า ผลการวิจัยมีแนวโน้มที่จะนำไปพัฒนาเป็นอิฐปูพื้นลดอุณหภูมิภายนอกอาคารได้ดี อย่างไรก็ตามควรหาวัสดุชนิดอื่นที่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับอิฐปูพื้น ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิที่ผิวหน้าเพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงต่อไป

(กิตติ เติมมธุรพจน์ และคณะ,2553) ศึกษาการพัฒนากะลาปาล์มบล็อกน้ำหนักเบาที่มีประสิทธิภาพในการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร อาคารในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น มักจะประสบกับปัญหาด้านความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่อาคารลดความร้อนภายในอาคารจะช่วยลดภาระในการทำงานของเครื่องปรับอากาศลงได้ งานวิจัยนี้ จึงมุ่งมั่นเน้นการนำขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและกะลาปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่เหลือจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมการเกษตร มาพัฒนาบล็อกคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาและมีประสิทธิภาพในการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยวิธีการหล่อก้อนตัวอย่างทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมและเปรียบเทียบกับมาตรฐานคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับ น้ำหนัก ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 58-2530 ผลการวิเคราะห์การทดสอบพบว่า คอนกรีตบล็อกซึ่งมีขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน และกะลาปาล์มน้ำมัน 1 โดยมวลและน้ำ 32.73% ของมวลรวมปูนซีเมนต์และขี้เถ้าปาล์มน้ำมันให้ผลการรับกำลังน้ำหนักกดอัดดีที่สุดคือ 48.458 KSC (ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 58-2530) ในการทดสอบคอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน ต่อ กะลาปาล์มน้ำมัน ตามอัตราส่วนดังกล่าว (0.3 : 0.7 : 0.1) โดยมีการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำระหว่าง 26-38% ของมวลรวมระหว่างปูนซีเมนต์และขี้เถ้าปาล์มน้ำ พบว่าคอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนผสมดังกล่าวที่มีปริมาณน้ำ 30% สามารถรับกำลังน้ำหนักกดอัด ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 58-2530 โดยมีค่าน้ำหนักและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k value) ต่ำที่สุดคือ 1.412 kg. และ 0.221 W/m.k ซึ่งต่ำกว่าค่าน้ำหนักและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมาตรฐานทั่วไปตามท้องตลาด ผลการศึกษาในเบื้องต้นมีแนวโน้มความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบาที่มีประสิทธิภาพในการลดความร้อนเข้าสู่อาคารต่อไป

(ศุภกิจ นนทนานันท์ และคณะ,2553) ศึกษา การใช้ประโยชน์ปูนซีเมนต์จากขยะอุตสาหกรรมโดยผลิตเป็นคอนกรีตพรุน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ปูนซีเมนต์จากขยะอุตสาหกรรมผงสีเทา (GCM) ผลิตคอนกรีตพรุน จากการเปรียบเทียบสมบัติของคอนกรีตพรุน (GCM) กับคอนกรีตพรุนที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) พบว่าค่าอัตราส่วนโพรงค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำและกำลังอัดมอร์ต้ามีค่าต่ำกว่าคอนกรีตพรุน OPC อย่างไรก็ตามคอนกรีตพรุนที่ใช้ GCM มีการพัฒนากำลังตามอายุการบ่มน้ำอย่างชัดเจน โดยมีค่ากำลังอัดมอร์ต้า 40.64 และ 52.60 ksc ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วันการแทนที่ปูนซีเมนต์ GCM ด้วยปูนซีเมนต์ OPC 20% โดยน้ำ หนักให้กำลัง เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนซึ่งกำลังที่ 28 วันสูงถึง 73.60 ksc การศึกษาในเบื้องต้นพบว่าปูนซีเมนต์จากขยะผงสีเทาสามารถใช้เป็นการเชื่อมประสานในการผลิตคอนกรีตพรุนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งสอดคล้องกับหลักการของการใช้ประโยชน์จากขยะอย่างมีศักยภาพ (NICE Criteria)

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดลอง ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 การศึกษาหาข้อมูลในการทำโครงงาน

ศึกษาข้อมูลต่างๆ เช่น วารสาร สิ่งพิมพ์ ห้องสมุด ฯลฯ เพื่อเป็นแนวทางการทำโครงงาน ปรึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อวางแผนการดำเนินงานต่างๆ เพื่อจัดทำโครงงาน

3.2 การเตรียมวัสดุ

3.2.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการดำเนินงานเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นปูนประเภทที่เหมาะจะนำไปใช้กับงานก่อสร้าง งานคอนกรีตที่ต้องรับกำลังอัดสูง และงานคอนกรีตทั่วไป เช่น งานก่อสร้างอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็กทุกชนิด เช่น สนามบิน สะพาน ถนนและผลิตภัณฑ์ประเภทอัดแรงต่างๆ

3.2.2 กากตะกรันเหล็ก

กากตะกรันเหล็กที่ใช้ในการดำเนินการศึกษา เป็นกากตะกรันเหล็กจาก บริษัทอุสาหกรรมเหล็กกล้าเอเชี่ยน จำกัด 347 หมู่ 4 ซ.สวนหลวง 1 ต.ท่าไม้ อ.กระทุ่มแบน จ.สมุทรสาคร ซึ่งกากตะกรันเหล็กนี้จะมีลักษณะเป็นก้อนหลังจากแข็งตัว ก่อนที่จะนำกากตะกรันเหล็กเหล่านี้มาทำการทดสอบเป็นวัสดุมวลรวมในการผลิตบล็อกปูถนนจะต้องนำไปบดให้ละเอียด แล้วนำมาคัดแยกโดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อแยกเศษวัสดุที่เจือปนมากับกากตะกรันเหล็ก แล้วจึงนำไปทดสอบได้ โดยกากตะกรันเหล็กนี้จะทำการทดสอบที่อัตราส่วนผสม 1:3 , 1:5 , 1:7

การบดด้วยเครื่องลอสแองเจลิส (Los Angeles Machine)

3.2.2.1 เครื่องมือการบดด้วยวิธี Los Angeles Machine (แสดงดังรูป 3-1)

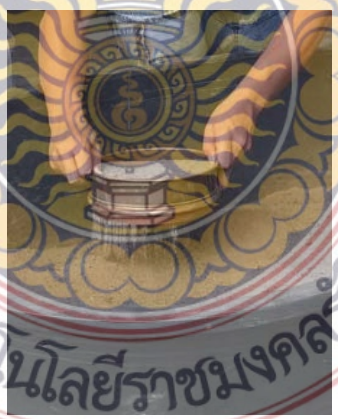
1. แท่งเหล็กขนาด 12 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร (แสดงดังรูป 3-2)
2. กากตะกรันเหล็กที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (แสดงดังรูป 3-3)

3.2.3 น้ำ

น้ำที่ใช้ในการทดสอบ เป็นน้ำประปาที่สะอาดและปราศจากสิ่งเจือปน

รูปที่ 3-1 เครื่องลอสแองเจลิส (Los Angeles Machine)

รูปที่ 3-2 แท่งเหล็กขนาด 12 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร



รูปที่ 3-3 กากตะกรันที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

3.3 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการผลิตบล็อกปูถนนจากกากตะกรัน

การศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของกากตะกรันเหล็กและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ประเภทที่ 1 ที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 สำหรับใช้ในการทำตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนผสมกากตะกรันเหล็ก มีการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ ดังนี้

3.3.1 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของกากตะกรันเหล็ก (Specific Gravity of Steel Slag Testing) ASTM D 4792

3.3.2 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ประเภทที่ 1 (Specific Gravity of Cement Testing) ASTM C 188

3.4 การทดสอบคุณลักษณะเฉพาะของกากตะกรันเหล็ก

3.4.1 การทดสอบการวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ธาตุด้วยเทคนิค (XRF) wavelength dispersive เป็นเครื่องวิเคราะห์หาธาตุตั้งแต่ Be ถึง U สามารถบอกปริมาณโดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ซึ่งสามารถวัดได้ตั้งแต่ระดับ ppm ถึงเปอร์เซ็นต์ โดยการทดสอบทำโดยนำกากตะกรันเหล็กจำนวน 1 กิโลกรัม ที่ผ่านการบดละเอียดนาน 30 นาที ทำการทดสอบที่ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

รูปที่ 3-4 เครื่อง X-Ray wavelength dispersive ยี่ห้อ Bruker รุ่น S8 (กรมวิทยาศาสตร์บริการ)

3.5 การศึกษาคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็ก

การทำตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็กที่ใช้เพื่อการศึกษาโครงงาน ผลิตตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็ก โดยใช้อัตราส่วนผสมของกากตะกรันเหล็ก คือ 1:3, 1:5 และ 1:7 โดยน้ำหนักตามลำดับ ในแต่ละอัตราส่วน ใช้ตัวอย่างอัตราส่วนผสมละ 30 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างทดสอบรวมทั้งหมด 90 ตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างการทดสอบที่จะมีขนาด กว้าง 11.5 ซม. ยาว 22.5 ซม. สูง 6 ซม. หลังจากนั้นดำเนินการทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพ มีรายละเอียด ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 แสดงประเภทการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมและจำนวนของตัวอย่างรทดสอบ

ประเภทการทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง		
	อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์:กากตะกรันเหล็ก		
	1 : 3	1 : 5	1 : 7
ความต้านทานแรงอัด			
- อายุ 7 วัน	5	5	5
- อายุ 14 วัน	5	5	5
- อายุ 21 วัน	5	5	5
- อายุ 28 วัน	5	5	5
ลักษณะทั่วไปของมิติ ที่ 28 วัน	5	5	5
การดูดซึมน้ำ ที่อายุ 28 วัน	5	5	5
รวม	**30**	**30**	**30**

3.5.1 การทดสอบกำลังความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7 วัน, 14 วัน, 21 วัน และ 28 วัน แต่ละอัตราส่วนผสมต่างๆ ของบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็ก ตามมาตรฐาน มอก. 827 – 2531 ตามกระทรวงอุตสาหกรรม โดยมีลักษณะการทดสอบดังรูปที่ 3-5

3.5.2 การทดสอบลักษณะทั่วไปและมิติที่อายุ 28 วัน

3.5.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน แต่ละอัตราส่วนผสมต่างๆ ของบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็ก โดยนำไปแช่น้ำเป็นระยะเวลา 30 นาที และ 24 ชั่วโมง

รูปที่ 3-5 เครื่องทดสอบกำลังอัด

3.6 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็ก

นำผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็ก ในส่วนของคุณสมบัติทางกลความต้านทางแรงอัด ที่อายุการบ่มต่างๆ และคุณสมบัติทางกายภาพ ในส่วนลักษณะทั่วไปและมิติ และค่าการดูดซึมน้ำ ที่อายุ 28 วัน ว่าอัตราส่วนผสมใดมีคุณสมบัติดีที่สุด โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827-2531

บทที่ 4
การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษา เรื่อง “การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากตะกรันเหล็กแทนวัสดุมวลรวมในการผลิตบล็อกปูถนน” มีผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็ก ตะกรันเหล็กและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ดังนี้

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของตะกรันเหล็ก

จากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีด้วยเทคนิค XRF แบบ wavelength dispersive โดยนำตัวอย่างกากตะกรันเหล็กไปทดสอบที่ กรมวิทยาศาสตร์ ค่าองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันเหล็ก ได้ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีของตะกรันเหล็ก

ส่วนประกอบทางเคมี	สัญลักษณ์	ปริมาณ,ร้อยละโดยน้ำหนัก
โซเดียมออกไซด์	Na_2O	2.16
แบเรียมออกไซค์	Al_2O_3	11.96
ซิลิกอนไดออกไซด์	SiO_2	59.71
โพแทสเซียมออกไซด์	K_2O	3.45
แคลเซียมออกไซด์	CaO	1.03
แมงกานีสไดออกไซด์	MnO	15.89
เหล็กออกไซด์	Fe_2O_3	4.40

4.2 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของตะกรันเหล็ก

ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของตะกรันเหล็ก ที่นำมาทดสอบในโครงงานนี้ พบว่าตะกรันเหล็กที่ใช้ในการทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.92 โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ ข.-1 ในภาคผนวก ข.

4.3 ผลการทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภทที่ 1

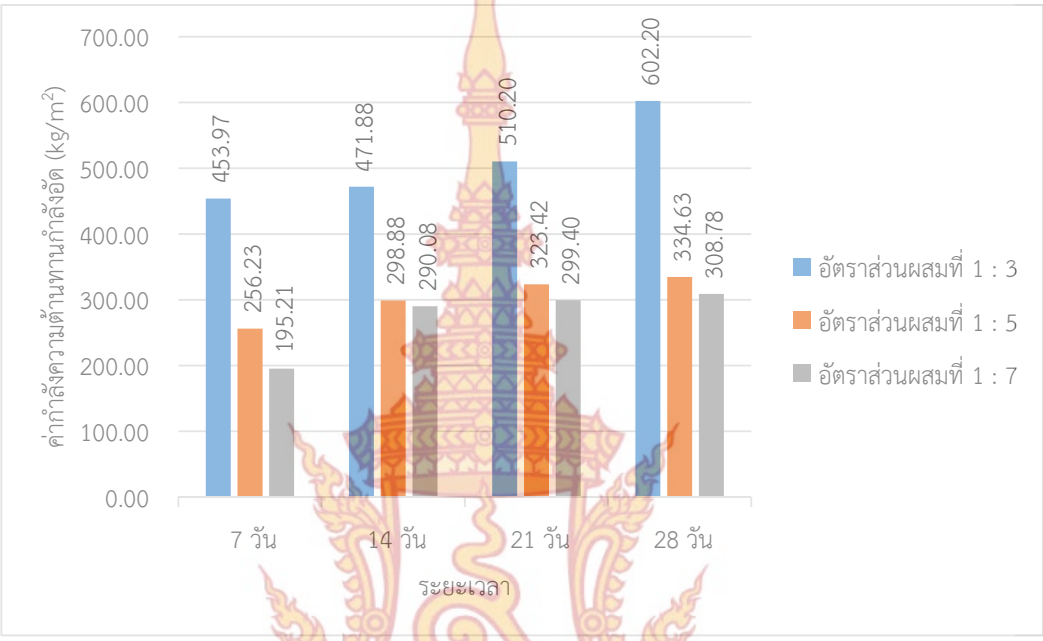
ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอตแลนต์ประเภทที่ 1 ที่นำมาทดสอบในโครงงานนี้ พบว่าปูนซีเมนต์ปอตแลนต์ที่ใช้ในการทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 เมื่อเปรียบเทียบมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน ASTM C188 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอตแลนต์ซึ่งมีค่าประมาณ 3.15 โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ ข.-2 ในภาคผนวก ข.

4.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของบล็อกปูถนนจากกากตะกรัน

ตารางที่ 4-2 แสดงค่าเฉลี่ยค่ากำลังความต้านทานกำลังอัดบล็อกปูถนนผสมกากตะกรันเหล็ก

ระยะเวลา	อัตราส่วนผสม (kg/m^2)		
	อัตราส่วนผสมที่ 1 : 3	อัตราส่วนผสมที่ 1 : 5	อัตราส่วนผสมที่ 1 : 7

7 วัน	453.97	256.23	195.21
14 วัน	471.88	298.88	290.08
21 วัน	510.20	323.42	299.40
28 วัน	602.20	334.63	308.78



รูปที่ 4-1 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงอัดของบล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของตะกรันเหล็ก

จากกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังความต้านทานแรงอัดของบล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็ก พบว่าความสามารถในการรับกำลังความต้านทานแรงอัดของบล็อกปูถนนในแต่ละอัตราส่วนผสมนั้นให้ค่ากำลังอัดที่สูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ซึ่งในอัตราส่วนผสมที่ 1:3 จะรับกำลังความต้านทานแรงอัดสูงที่สุดในระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน มีค่ากำลังความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 602.20 กก./ซม.^{2} อัตราส่วนผสมที่ 1:5 จะรับกำลังความต้านที่แรงอัดสูงที่สุดในระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน มีค่ากำลังความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 334.63 กก./ซม.^{2} และอัตราส่วนผสมที่ 1:7 จะรับกำลังความต้านที่แรงอัดสูงที่สุดในระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน มีค่ากำลังความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 308.78 กก./ซม.^{2} ดังตารางที่ (ค-1) - (ค-12) ในภาคผนวก ค.

4.5 ผลการทดสอบลักษณะทั่วไปและมิติของบล็อกปูถนนจากกากตะกรัน

ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบลักษณะทั่วไปและมิติของบล็อกปูถนนจากกากตะกรัน

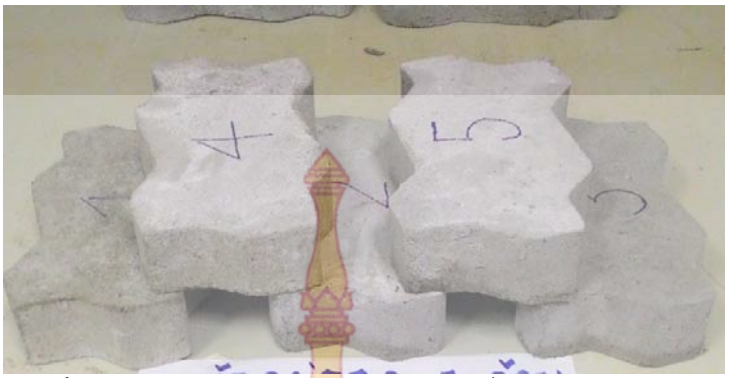
อัตราส่วน	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	น้ำหนัก (kg)
1 : 3	11.5	21.5	6	2.19
1 : 5	11.5	21.5	6	2.12
1 : 7	11.5	21.5	6	2.13

จากตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบลักษณะทั่วไปและมิติของบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็กที่อายุ 28 วัน โดยทำการวัดขนาดก้อนตัวอย่างทดสอบพบว่าบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็กมีลักษณะทั่วไปและมิติเฉลี่ยดังนี้ ความกว้างเท่ากับ 11.50 ซม. ความยาวเท่ากับ 21.50 ซม. ความหนาเท่ากับ 6.00 ซม.และน้ำหนักต่อตัวอย่างเท่ากับ 2.15 ซม. เมื่อเพิ่มปริมาณอัตราส่วนผสมของกากตะกรันเหล็กที่อัตราส่วนผสม 1:3 , 1:5 , 1:7 ตามลำดับพบว่าก้อนตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็กจะมีสีเทาเข้มขึ้น ตามอัตราส่วนผสมเนื่องจากอัตราการแทนที่ของกากตะกรันเหล็กมากขึ้นก็จะมีสีเทาเข้มขึ้นตามลำดับ โดยแสดงรายละเอียดของก้อนตัวอย่าง ดังรูปภาพที่ 4-6 - 4-8

4.6 ลักษณะของตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็ก ในแต่ละอัตราส่วนผสม

รูปที่ 4-2 บล็อกปูถนนผสมกากตะกรันเหล็กที่อัตราส่วนผสม 1 : 3

รูปที่ 4-3 บล็อกปูถนนผสมกากตะกรันเหล็กที่อัตราส่วนผสม 1 : 5

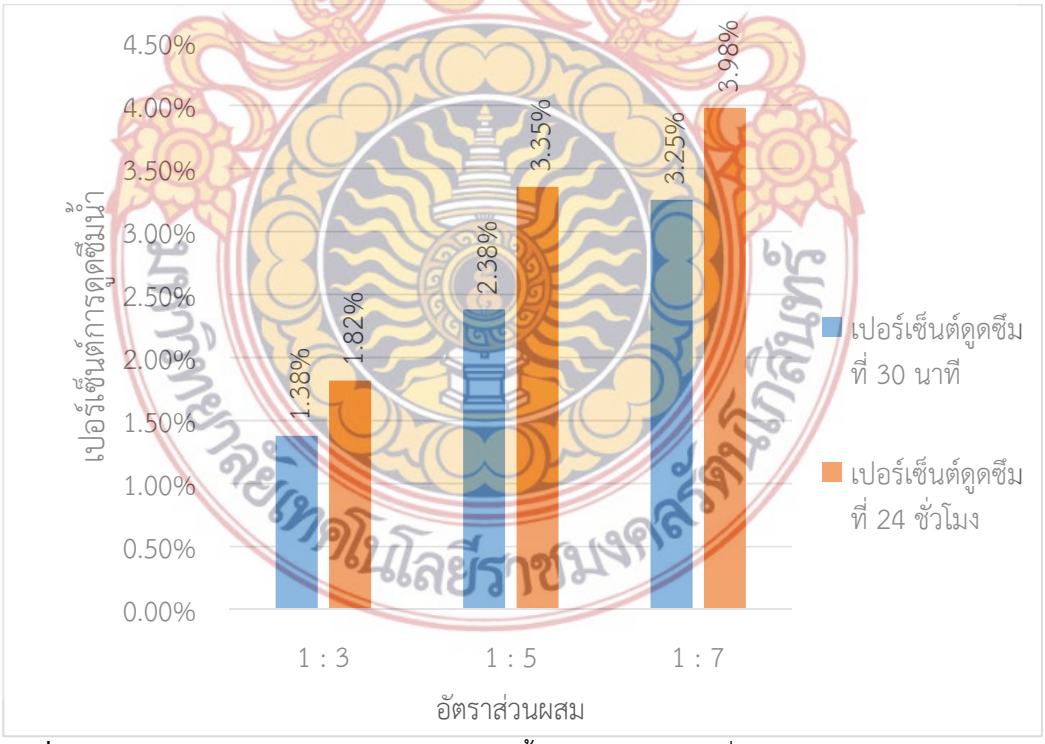


รูปที่ 4-4 บล็อกปูถนนผสมกากตะกรันเหล็กที่อัตราส่วนผสม 1 : 7

4.7 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกปูถนนจากกากตะกรัน

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกปูถนนจากกากตะกรัน

อัตราส่วนผสม	น้ำหนัก (g.)			เปอร์เซ็นต์ดูดซึมที่ 30 นาที	เปอร์เซ็นต์ดูดซึมที่ 24 ชั่วโมง
	หลังอบแห้ง	แช่น้ำ 30 นาที	แช่น้ำ 24 ชั่วโมง		
1 : 3	2916.4	2956.6	2969.4	1.38%	1.82%
1 : 5	2737	2802.2	2828.8	2.38%	3.35%
1 : 7	2768.2	2858.2	2878.4	3.25%	3.98%



รูปที่ 4-5 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการดูดซึมน้ำของบล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมต่างๆของตะกรันเหล็ก

จากกราฟเปรียบเทียบอัตราการดูดซึมน้ำของบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็ก ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันของกากตะกรันเหล็ก พบว่าการดูดซึมน้ำของบล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็กที่อัตราส่วนผสมที่ 1:3 มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าการดูดซึมน้ำที่ 30 นาทีเท่ากับ 1.38 % และมีค่าการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 1.82 % เนื่องจากความหนาแน่นของส่วนผสมในอัตาส่วผสมที่ 1:3 มีความหนาแน่นมากและมีน้ำหนักต่อก้อนสูงกว่าอัตราส่วนผสมอื่น จึงทำให้มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยกว่าอัตราส่วนผสมอื่น ดังตารางที่ (ค-13) - (ค.16) ในภาคผนวก ค.

4.8 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของบล็อกปูถนนจากกากตะกรัน

4.8.1 ผลการทดสอบกำลังความต้านทานแรงอัด

จากการทดสอบกำลังความต้านทานแรงอัดของบล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็ก ที่อายุ 7 วัน, 14 วัน, 21 วัน และ 28 วัน พบว่า บล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็กในอัตราส่วนผสมที่ 1:3 มีค่ากำลังต้านทานแรงอัดดีที่สุด บล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็กในอัตราส่วนผสมที่ 1:5 มีค่ากำลังต้านทานแรงอัดรองลงมา และบล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็กในอัตราส่วนผสมที่ 1:7 มีค่ากำลังต้านทานแรงอัดน้อยที่สุด เพราะการเพิ่มกากตะกรันเหล็กจะทำให้น้ำหนักต่อก้อนลดลง และมีความหนาแน่นที่ลดลง โดยตะกรันเหล็กจะทำให้ก่อตัวช้าลงและลดการแตกร้าวได้ ถ้าสังเกตุจากกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังความต้านทานแรงอัดของบล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็ก จะพบว่าค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของแต่ละอัตราส่วนผสมแตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการบ่ม เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 827-2531 ในอัตราส่วนผสมทั้ง 3 นี้มีค่ากำลังต้านทานแรงอัดเป็นไปตามมาตรฐานซึ่งมีเกณฑ์มาตรฐานเท่ากับ 350 กก./ซม.^{2} ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

4.8.2 ผลการทดสอบลักษณะทั่วไปและมิติ

จากการทดสอบคุณลักษณะทั่วไปและมิติของบล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็ก ที่อายุ 7 วัน, 14 วัน, 21 วัน และ 28 วัน พบว่าบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็กมีลักษณะทั่วไปและมิติเฉลี่ยดังนี้ ความกว้างเท่ากับ 11.50 ซม. ความยาวเท่ากับ 21.50 ซม. ความหนาเท่ากับ 6.00 ซม.และน้ำหนักต่อตัวอย่างเท่ากับ 2.15 ซม.และจะมีสีเทาเข้มขึ้นตามอัตราส่วนผสมตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827-2531 คอนกรีตบล็อกประสารปูพื้นกำหนดว่าความกว้างเท่ากับ 11.50 ซม. ความยาวเท่ากับ 22.50 ซม. ความหนาเท่ากับ 6.00 ซม. และน้ำหนักเท่ากับ 3.50 กก.พบว่า ความกว้าง ความยาว ความหนาและน้ำหนักนั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827-2531 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

4.8.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็กพบว่าบล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็กในอัตราส่วนผสมที่ 1:3 มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดที่ 30 นาทีเท่ากับ 1.38 % และมีอัตราการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมงเท่ากับ 1.82 % และอัตราส่วนผสมที่ 1:5 มีอัตราการดูดซึมน้ำมากที่สุดที่ 30 นาทีเท่ากับ 3.25 % และมีอัตราการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมงเท่ากับ 3.98 % ซึ่งการดูดซึมน้ำนั้นทำให้ทราบถึงความหนาแน่นของส่วนผสม การดูดซึมน้ำน้อยแสดงว่ามีความหนาแน่นของส่วนผสมที่ดี และการดูดซึมน้ำมากแสดงว่าในการอัตราส่วนผสมนั้นไม่แน่นพอจึงดูดซึมน้ำมาก

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการจัดทำวิจัย เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการศึกษา และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนผลิตจากตะกรันเหล็ก ทั้ง 3 รูปแบบอัตราส่วนผสม คือตัวอย่างทดสอบบล็อกปูถนนผลิตจากตะกรันเหล็ก ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 1:3 , 1:5 , 1:7 สามารถสรุปผลการศึกษาโครงงานได้ดังนี้

5.1.1 สรุปผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF แบบ wavelength dispersive

จากการศึกษาด้วยเทคนิคดังกล่าว พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกรันเหล็กที่นำมาจากโรงงานบริษัท อุตสาหกรรมเหล็กกล้าเอเชี่ยน จำกัด 347 หมู่ 4 ซ.สวนหลวง 1 ต.ท่าไม้ อ.กระทุ่มแบน จ.สมุทรสาคร มีสารประกอบส่วนใหญ่อยู่ 3 ชนิด คือ Silicon dioxide , Aluminium oxide และ Manganese oxide มีปริมาณร้อยละ 59.71, 15.89 และ 11.96 ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเป็นสารประกอบโลหะออกไซด์และไฮโดรคาร์บอน

5.1.2 สรุปผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด

จากการศึกษาความต้านทานแรงอัด พบว่า บล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็ก ที่อายุ 28 วัน ของทั้ง 3 อัตราส่วนผสม มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงที่สุดเท่ากับ 602.20 กก./ซม.^{2} , 334.63 กก./ซม.^{2} และ 308.78 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ เมื่อนำมาตรฐานมาเปรียบเทียบซึ่งมาตรฐานที่นำมาเปรียบเทียบ คือ มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 827-2531 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น พบว่าความต้านทานแรงอัดที่กำหนดนั้น คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (รูปคดกริช) จะสามารถรับความต้านทานแรงอัดได้ถึง 350 กก./ซม.^{2} ซึ่งอัตราส่วนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 827-2531 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ซึ่งในอัตราส่วนผสมทั้ง 3 อัตราส่วนนี้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพียงอัตราส่วนเดียว คือ อัตราส่วนผสมที่ 1:3 สามารถรับความต้านทานแรงอัดที่ 28 วัน 602.20 กก./ซม.^{2}

5.1.3 สรุปการทดสอบคุณลักษณะทั่วไปและมิติ

จากการศึกษาคุณลักษณะทั่วไปและมิติ พบว่า บล็อกปูถนนผลิตจากตะกรันเหล็กที่ได้นั้นมีสีเทาและความกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 11.2 ซม. ความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 22.0 ซม. และความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 6 ซม. โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อก้อนเท่ากับ 2.15 กก. ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827-2531 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ซึ่งกำหนดให้มีขนาด ความกว้าง 11.2 ซม. ความยาว 22.0 ซม. ความหนา 6 ซม. โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ± 0.02 ซม. และมีน้ำหนักต่อก้อน 3.50 กก. เมื่อนำบล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็กมาเปรียบเทียบพบว่าขนาดของบล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็กนั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่น้ำหนักของบล็อกปูถนนที่ผสมกากตะกรันเหล็กมีน้ำหนักเบากว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827-2531.

5.1.4 สรุปผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ พบว่า การดูดซึมน้ำบล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็กที่อัตราส่วนผสม 1:3 มีอัตราการดูดซึมน้ำที่ 30 นาที เท่ากับ 1.38% และมีอัตราการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 1.82% ซึ่งอัตราการดูดซึมน้ำสามารถบอกถึงความหนาแน่นของบล็อกปูถนน ถ้าอัตราการดูดซึมน้ำน้อยแสดงว่าบล็อกปูถนนที่นำมาทดสอบนั้นมีค่าหนาแน่นมากกว่าอัตราส่วนผสมอื่นๆ

จากการศึกษาสรุปผลการทดสอบ พบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 1 : 3 สามารถรับความต้านทานแรงอัดได้สูงที่สุด มีน้ำหนักเบา ขนาดได้มาตรฐาน และมีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซึ่งความสามารถทั้ง 3 นี้ทำให้บล็อกปูถนนที่มีส่วนผสมของกากตะกรันเหล็กในอัตราส่วนผสมที่ 1 : 3 นั้นมีความทนทานสูงที่สุดและผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827-2531 คอนกรีตบล็อกปูพื้น จึงเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการจัดทำวิจัย สามารถสรุปเป็นข้อเสนอแนะที่ได้จากการจัดทำโครงงานดังต่อไปนี้

5.2.1 การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาในอัตราส่วนต่างๆ ที่มีความละเอียดมากขึ้น และขยายขอบเขตเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสม และควรใช้วัสดุอื่นๆ ในการผสมให้มีค่าหน่วยแรงอัดเพิ่มขึ้นอีก

5.2.2 การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาเกี่ยวกับ ปริมาณของกากตะกรันเหล็กที่มีอยู่ในส่วนผสมของบล็อกปูถนนผลิตจากกากตะกรันเหล็ก ว่ามีปริมาณสารเคมีมากน้อยเพียงใด

5.2.3 การศึกษาเป็นเพียงการทดสอบในห้องปฏิบัติการเท่านั้น จึงควรมีการนำไปประยุกต์ใช้จริงในงานก่อสร้าง และควรศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานในขั้นรายละเอียดต่างๆ เช่น ต้นทุนการผลิต การนำไปใช้งาน เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

เอกสารอ้างอิง

1. กิตติพงษ์ พลศร, จำเริญ ประทุนเทพ, การศึกษาการใช้ตะกรันลิกไนล์เป็นมวลรวมในการทำบล็อกปูถนน, มหาวิทยาลัยสยาม 2549
2. พงศ์พัน วรสุนทโรสถ, วรพงศ์ วรสุนทโรสถ, วัสดุก่อสร้าง 2555
3. ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร, คอนกรีตเทคโนโลยี
4. รศ.ดร.พิภพ สุนทรสมัย, วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง 2537
5. มอก. 827-2531 หลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อการอนุญาตสำหรับผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น
6. ASTM D4792 Standard Test Method for Potential Expansion of Aggregates from Hydration Reactions
7. ASTM C188 Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement
8. ASTM C 33 Standard Specification for Concrete Aggregates

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ภาคผนวก ก.

การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

ตารางที่ ก.-1 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของตะกรันเหล็ก

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION			
TRIAL NO.	1	2	3
A. น้ำหนักตะกรันหลังอบ (g.)	489.5	489.6	489.7
B. น้ำหนักของขวดแก้วพิโคมิเตอร์ ที่ใส่น้ำจนถึงขีดที่กำหนด(g.)	661.5	664.7	667.9
C. น้ำหนักของขวดแก้วพิโคมิเตอร์ ที่ใส่ตะกรันและน้ำจนถึงขีดที่กำหนด(g.)	984.5	986.2	989.8
S. น้ำหนักของตะกรันที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง(g.)	500	500.2	500.4
ความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Speciffic garuity) A/(B+C-S)	0.43	0.43	0.42
ความถ่วงจำเพาะรวม - อิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk specific gravity , SSD) = S/(B+S-C)	2.82	2.80	2.80
ความถ่วงจำเพาะที่ปรากฏ (Apparent specific gravity) = A/(B+A-C)	2.94	2.91	2.92
ร้อยละการดูดซึมน้ำของตะกรัน [(S - A) / A] × 100 (%)	2.15	2.17	2.19
ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะที่ปรากฏ	2.92		
ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของตะกรัน	2.17		

ตารางที่ ก.-2 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

การหาค่าความถ่วงจำเพาะ			
การทดลองที่	1	2	3
1. ระดับน้ำมันก๊าดก่อน (ml)	0	0	0
2. อุณหภูมิของน้ำมันก๊าดก่อน(C)	32.8	32.8	32.8
3. น้ำหนักปูนซีเมนต์และถาดก่อน (gm)	377.2	376.3	375.8
4. น้ำหนักปูนซีเมนต์และถาดที่เหลือ (gm)	317.3	314.7	314.5
5. น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้ (gm)	59.9	61.6	61.3
6. ระดับน้ำมันก๊าดหลัง (ml)	18.95	19.45	19.55
7. อุณหภูมิของน้ำมันก๊าดหลัง(C)	29.5	29.5	29.5
8. ปริมาตรที่ถูกแทนที่ (ml)	18.95	19.45	19.55
9. ความถ่วงจำเพาะ	3.16	3.17	3.14
ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย	3.15		

ภาคผนวก ข.

การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี

ที่ วท 0307/ 6743

ถึง นายชญานิน ทองนำ

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานผลการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบตัวอย่าง กากตะกรันเหล็ก หมายเลขปฏิบัติการ L58/02860.1 จำนวน 1 ตัวอย่าง ตามคำร้องเลขรับ L58/02860 วันที่ 18 พฤษภาคม 2558

พร้อมนี้ได้แนบผลการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ มาเพื่อทราบ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ
8 มิถุนายน 2558

โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม
โทร. 0 2201 7130
โทรสาร 0 2201 7127
E-mail : physics@dss.go.th

แบบ วศ.1

รายงานการทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย / ตรา	หมายเลขปฏิบัติการ
กากตะกรันเหล็ก	-	L58/02860.1

ผลการทดสอบ

องค์ประกอบเคมี	ปริมาณ, ร้อยละโดยน้ำหนัก
Na_2O	2.16
MgO	0.21
Al_2O_3	11.96
SiO_2	59.71
P_2O_5	0.03
SO_3	0.12
K_2O	3.45
CaO	1.03
TiO_2	0.29
Cr_2O_3	0.62
MnO	15.89
Fe_2O_3	4.40
ZrO_2	0.04
BaO	0.08

รายงานนี้รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ทดสอบ ผลการทดสอบไม่ควรใช้รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง
ห้ามคัดถ่ายใบรับรองหรือรายงานผลแต่เพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นลายลักษณ์อักษร
กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ถนนพระรามที่ 6 ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 ประเทศไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา

หมายเลขปฏิบัติการ L58/02860.1

ชื่อผู้ใช้บริการ	นายชญานิน ทองนำ
ที่อยู่ผู้ใช้บริการ	96 หมู่ 3 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170
ลักษณะตัวอย่าง	ผงละเอียดสีดำ จำนวน 1 กล่อง
วันที่ทดสอบ	20-21 พฤษภาคม 2558
วิธีทดสอบ	ทดสอบด้วยเทคนิค XRF แบบ wavelength dispersive โดยใช้เครื่องยี่ห้อ Bruker รุ่น S8 Tiger
หมายเหตุ	นำตัวอย่างไปอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกเป็นแผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 40 มิลลิเมตร ก่อนทำการทดสอบ

ผู้รับรอง	ผู้รายงาน
(นายกนิษฐ์ ตะปะสา)	(นางสาวอุษณีย์ พันธุลาภ)
นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ	นักวิทยาศาสตร์

รายงานนี้รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ทดสอบ ไม่รับรองผลิตภัณฑ์หรือสินค้านี้ รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง
ห้ามคัดถ่ายใบรับรองหรือรายงานนอกเสียแต่เพียงบางส่วนโดยมิได้รับอนุญาตจากกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นลายลักษณ์อักษร
กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ถนนพระรามที่ 6 ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 ประเทศไทย

ภาคผนวก ค.

แสดงตารางคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของตัวอย่างบล็อกปูถนนจากกากตะกรันเหล็ก

ตารางที่ ค-1 แสดงการรับแรงอัดของบล็อกปูถนนอัตราส่วนที่ 1 : 3 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	อายุ	น้ำหนัก	แรงกดของชิ้นทดสอบ	รับแรงอัด
	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	(cm^2.)	(วัน)	(kg.)	(kg.)	(kg./cm^2)
1	11.5	22.5	6	258.75	7	2.84	118950.10	459.71
2	11.5	22.5	6	258.75	7	2.98	115596.33	446.75
3	11.5	22.5	6	258.75	7	2.93	122375.13	472.95
4	11.5	22.5	6	258.75	7	2.90	109398.57	422.80
5	11.5	22.5	6	258.75	7	2.96	120998.98	467.63
เฉลี่ย						2.92	117463.82	453.97

ตารางที่ ค-2 แสดงการรับแรงอัดของบล็อกปูถนนอัตราส่วนที่ 1 : 5 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	อายุ	น้ำหนัก	แรงกดของชิ้นทดสอบ	รับแรงอัด
	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	(cm^2.)	(วัน)	(kg.)	(kg.)	(kg./cm^2)
1	11.5	22.5	6	258.75	7	2.81	72354.74	279.63
2	11.5	22.5	6	258.75	7	2.82	69204.89	267.46
3	11.5	22.5	6	258.75	7	2.87	67227.32	259.82
4	11.5	22.5	6	258.75	7	2.83	66962.28	258.79
5	11.5	22.5	6	258.75	7	2.85	55749.24	215.46
เฉลี่ย						2.84	66299.69	256.23

ตารางที่ ค-3 แสดงการรับแรงอัดของบล็อกปูถนนอัตราส่วนที่ 1 : 7 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	อายุ	น้ำหนัก	แรงกดของชิ้นทดสอบ	รับแรงอัด
	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	(cm^2.)	(วัน)	(kg.)	(kg.)	(kg./cm^2)
1	11.5	22.5	6	258.75	7	2.69	40856.00	157.90
2	11.5	22.5	6	258.75	7	2.89	55413.00	214.16
3	11.5	22.5	6	258.75	7	2.90	59072.00	228.30
4	11.5	22.5	6	258.75	7	2.72	45882.00	177.32
5	11.5	22.5	6	258.75	7	2.85	51336.00	198.40
เฉลี่ย						2.81	50511.80	195.21

ตารางที่ ค-4 แสดงการรับแรงอัดของบล็อกปูถนนอัตราส่วนที่ 1 : 3 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	อายุ	น้ำหนัก	แรงกดของชิ้นทดสอบ	รับแรงอัด
	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	(cm^2.)	(วัน)	(kg.)	(kg.)	(kg./cm^2)
1	11.5	22.5	6	258.75	14	2.95	138858.31	536.65
2	11.5	22.5	6	258.75	14	2.87	116625.89	450.73
3	11.5	22.5	6	258.75	14	2.88	149449.54	577.58
4	11.5	22.5	6	258.75	14	2.88	133323.14	515.26
5	11.5	22.5	6	258.75	14	2.86	121814.48	470.78
เฉลี่ย						2.89	132014.27	510.20

ตารางที่ ค-5 แสดงการรับแรงอัดของบล็อกปูถนนอัตราส่วนที่ 1 : 5 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	อายุ	น้ำหนัก	แรงกดของชิ้นทดสอบ	รับแรงอัด
	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	(cm^2.)	(วัน)	(kg.)	(kg.)	(kg./cm^2)
1	11.5	22.5	6	258.75	14	2.82	91510.70	353.66
2	11.5	22.5	6	258.75	14	1.94	92242.61	356.49
3	11.5	22.5	6	258.75	14	2.74	91355.76	353.07
4	11.5	22.5	6	258.75	14	2.70	77064.22	297.83
5	11.5	22.5	6	258.75	14	2.78	80754.33	312.09
เฉลี่ย						2.60	86585.52	334.63

ตารางที่ ค-6 แสดงการรับแรงอัดของบล็อกปูถนนอัตราส่วนที่ 1 : 7 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	อายุ	น้ำหนัก	แรงกดของชิ้นทดสอบ	รับแรงอัด
	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	(cm^2.)	(วัน)	(kg.)	(kg.)	(kg./cm^2)
1	11.5	22.5	6	258.75	14	2.92	89408.77	345.54
2	11.5	22.5	6	258.75	14	2.84	91050.83	351.89
3	11.5	22.5	6	258.75	14	2.78	75457.70	291.62
4	11.5	22.5	6	258.75	14	2.90	73227.99	283.01
5	11.5	22.5	6	258.75	14	2.90	70332.96	271.82
เฉลี่ย						2.87	79895.65	308.78

ตารางที่ ค-7 แสดงการรับแรงอัดของบล็อกปูถนนอัตราส่วนที่ 1 : 3 ที่อายุ 21 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	อายุ	น้ำหนัก	แรงกดของชิ้นทดสอบ	รับแรงอัด
	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	(cm^2.)	(วัน)	(kg.)	(kg.)	(kg./cm^2)
1	11.5	22.5	6	258.75	21	2.94	163363.91	631.36
2	11.5	22.5	6	258.75	21	2.97	132354.74	511.52
3	11.5	22.5	6	258.75	21	2.84	153741.08	594.17
4	11.5	22.5	6	258.75	21	3.04	166697.25	644.24
5	11.5	22.5	6	258.75	21	2.98	162935.78	629.70
เฉลี่ย						2.95	155818.55	602.20

ตารางที่ ค-8 แสดงการรับแรงอัดของบล็อกปูถนนอัตราส่วนที่ 1 : 5 ที่อายุ 21 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	อายุ	น้ำหนัก	แรงกดของชิ้นทดสอบ	รับแรงอัด
	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	(cm^2.)	(วัน)	(kg.)	(kg.)	(kg./cm^2)
1	11.5	22.5	6	258.75	21	2.86	88827.73	343.30
2	11.5	22.5	6	258.75	21	2.80	83537.21	322.85
3	11.5	22.5	6	258.75	21	2.78	77186.54	298.31
4	11.5	22.5	6	258.75	21	2.83	84271.15	325.69
5	11.5	22.5	6	258.75	21	2.89	84597.35	326.95
เฉลี่ย						2.83	83684.00	323.42

ตารางที่ ค-9 แสดงการรับแรงอัดของบล็อกปูถนนอัตราส่วนที่ 1 : 7 ที่อายุ 21 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	อายุ	น้ำหนัก	แรงกดของชิ้นทดสอบ	รับแรงอัด
	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	(cm^2.)	(วัน)	(kg.)	(kg.)	(kg./cm^2)
1	11.5	22.5	6	258.75	21	2.94	82354.74	318.28
2	11.5	22.5	6	258.75	21	2.93	82423.04	318.54
3	11.5	22.5	6	258.75	21	2.86	73606.52	284.47
4	11.5	22.5	6	258.75	21	2.83	78746.18	304.33
5	11.5	22.5	6	258.75	21	2.67	70224.26	271.40
เฉลี่ย						2.84	77470.95	299.40

ตารางที่ ค-10 แสดงการรับแรงอัดของบล็อกปูถนนอัตราส่วนที่ 1 : 3 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	อายุ	น้ำหนัก	แรงกดของชิ้นทดสอบ	รับแรงอัด
	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	(cm^2.)	(วัน)	(kg.)	(kg.)	(kg./cm^2)
1	11.5	22.5	6	258.75	28	2.910	144699.29	559.22
2	11.5	22.5	6	258.75	28	2.938	117614.68	454.55
3	11.5	22.5	6	258.75	28	2.885	116228.34	449.19
4	11.5	22.5	6	258.75	28	2.939	116126.40	448.80
5	11.5	22.5	6	258.75	28	2.936	115820.59	447.62
เฉลี่ย						2.9214	122097.86	471.88

ตารางที่ ค-11 แสดงการรับแรงอัดของบล็อกปูถนนอัตราส่วนที่ 1 : 5 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	อายุ	น้ำหนัก	แรงกดของชิ้นทดสอบ	รับแรงอัด
	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	(cm^2.)	(วัน)	(kg.)	(kg.)	(kg./cm^2)
1	11.5	22.5	6	258.75	28	2.83	75820.59	293.03
2	11.5	22.5	6	258.75	28	2.86	90071.36	348.10
3	11.5	22.5	6	258.75	28	2.80	62283.38	240.71
4	11.5	22.5	6	258.75	28	2.79	74594.29	288.29
5	11.5	22.5	6	258.75	28	2.84	83904.18	324.27
เฉลี่ย						2.82	77334.76	298.88

ตารางที่ ค-12 แสดงการรับแรงอัดของบล็อกปูถนนอัตราส่วนที่ 1 : 7 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	อายุ	น้ำหนัก	แรงกดของชิ้นทดสอบ	รับแรงอัด
	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	(cm^2.)	(วัน)	(kg.)	(kg.)	(kg./cm^2)
1	11.5	22.5	6	258.75	28	2.85	72408.77	279.84
2	11.5	22.5	6	258.75	28	2.89	89306.83	345.15
3	11.5	22.5	6	258.75	28	2.84	61457.70	237.52
4	11.5	22.5	6	258.75	28	2.82	71084.61	274.72
5	11.5	22.5	6	258.75	28	2.80	81030.58	313.16
เฉลี่ย						2.84	75057.70	290.08

ตารางที่ ค-13 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของบล็อกปูถนนที่อัตราส่วนที่ 1:3

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g.)				เปอร์เซนต์ดูดซึมที่ 30 นาที	เปอร์เซนต์ดูดซึมที่ 24 ชั่วโมง
	ก่อนอบแห้ง	หลังอบแห้ง	แช่น้ำ 30 นาที	แช่น้ำ 24 ชั่วโมง		
1	3000	2955	2990	3008	1.18%	1.79%
2	3002	2958	3000	3013	1.42%	1.86%
3	2867	2819	2860	2874	1.45%	1.95%
4	2929	2890	2928	2940	1.31%	1.73%
5	3024	2960	3005	3012	1.52%	1.76%
เฉลี่ย	2964.4	2916.4	2956.6	2969.4	1.38%	1.82%

ตารางที่ ค-14 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของบล็อกปูถนนที่อัตราส่วนที่ 1:5

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g.)				เปอร์เซนต์ดูดซึมที่ 30 นาที	เปอร์เซนต์ดูดซึมที่ 24 ชั่วโมง
	ก่อนอบแห้ง	หลังอบแห้ง	แช่น้ำ 30 นาที	แช่น้ำ 24 ชั่วโมง		
1	2743	2651	2749	2775	3.70%	4.68%
2	2868	2804	2872	2897	2.43%	3.32%
3	2912	2838	2908	2931	2.47%	3.28%
4	2859	2766	2870	2894	3.76%	4.63%
5	2881	2782	2892	2895	3.95%	4.06%
เฉลี่ย	2852.6	2768.2	2858.2	2878.4	3.26%	3.99%

ตารางที่ ค-15 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของบล็อกปูถนนที่อัตราส่วนที่ 1:7

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g.)				เปอร์เซนต์ดูดซึมที่ 30 นาที	เปอร์เซนต์ดูดซึมที่ 24 ชั่วโมง
	ก่อนอบแห้ง	หลังอบแห้ง	แช่น้ำ 30 นาที	แช่น้ำ 24 ชั่วโมง		
1	2947	2884	2946	2981	2.15%	3.36%
2	2735	2642	2749	2771	4.05%	4.88%
3	2820	2754	2810	2841	2.03%	3.16%
4	2818	2763	2805	2840	1.52%	2.79%
5	2756	2642	2701	2711	2.23%	2.61%
เฉลี่ย	2815.2	2737	2802.2	2828.8	2.40%	3.36%

ตารางที่ ค-16 แสดงค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของบล็อกปูถนนที่อัตราส่วนที่ 1:3 ,1:5,และ 1:7

อัตราส่วนผสม	น้ำหนัก (g.)				เปอร์เซนต์ดูดซึมที่ 30 นาที	เปอร์เซนต์ดูดซึมที่ 24 ชั่วโมง
	ก่อนอบแห้ง	หลังอบแห้ง	แช่น้ำ 30 นาที	แช่น้ำ 24 ชั่วโมง		
1 : 3	2964.4	2916.4	2956.6	2969.4	1.38%	1.82%
1 : 5	2852.6	2768.2	2858.2	2878.4	3.25%	3.98%
1 : 7	2815.2	2737	2802.2	2828.8	2.38%	3.35%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประวัติคณะผู้วิจัยและผู้ร่วมวิจัย

1. หัวหน้าโครงการ/ผู้วิจัยหลัก

1. นายอุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ
   Mr. Udomvit Chaisakunkerd

2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน: 3709800016471

3. ตำแหน่งปัจจุบัน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ เลขที่ 96 หมู่ 3 ถ. พุทธมณฑลสาย 5

ต. ศาลายา อ. พุทธมณฑล จ. นครปฐม 73170 โทรศัพท์ 0-2889-4585

โทรสาร 0-2889-5014 โทรศัพท์มือถือ 0-1867-7542 E-mail: kudomvit @hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	ชื่อย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2546	ตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมโยธา	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	ไทย
2544	โท	วศ.ม.	วิศวกรรมโยธา	ม. รังสิต	ไทย
2552	เอก	ปร.ด.	บริหารการศึกษา	สจ.ล.	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- การบริหารงานก่อสร้างและการบริหารงานวิชาการ

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศโดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ที่ตีพิมพ์ การเผยแพร่และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

: การจัดการของเสียจากขบวนการเลี้ยงสุกรในจังหวัดนครปฐม โดยระบบถังเกรอะ-กรองไร้อากาศและสระพักน้ำผันสภาพ

: การพัฒนารูปแบบการประเมินการปฏิบัติงานของบุคลากร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

: การศึกษาคุณสมบัติของดินชั้นทางหินคลุกบดอัดผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขี้เถ้าแกลบ

: การศึกษาคุณสมบัติของอิฐดินดิบที่ผสมเส้นใยต้นธูปฤาษี

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ

: การศึกษาประมาณราคาอาคารสูงพักอาศัยในแถบชายทะเลโดยใช้โครงข่ายประสาทใยเทียม

: การศึกษาคุณสมบัติและประสิทธิภาพของคอนกรีตมวลเบาผสมเปลือกหอยแมลงภู่เสริมไม้ไผ่เพื่อนำมาผลิตหลักนำทาง

2. ผู้ร่วมวิจัย

1. นายประพัฒน์ สีใส

Mr. Prapat Seesai

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน : 3 3097 00113 55 0

3. ตำแหน่งปัจจุบัน : อาจารย์ ระดับ 7

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา

เลขที่ 96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑลสาย 5

ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

โทรสาร 0-2889-2621

5. ประวัติการศึกษา

ปริญญาโท : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยรังสิต

ปริญญาตรี : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- การประมาณราคา และวิศวกรรมขนส่ง การปฏิบัติงานก่อสร้าง

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศโดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 งานวิจัยที่กำลังทำ : เครื่องทำกระดูกมนุษย์อัดเม็ด