

การพัฒนาชั้นรองพื้นทางบดอัดจากกากชี้แบ่งยางผสมซีเมนต์และกระดาษหนังสือพิมพ์เพื่อการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น

Development of a pavement sub base compaction from rubber latex sludge mixed cement and newspaper for adding value waste from latex factory

นิชาภา มินาบุลย์¹ ประพัฒน์ สีใส² และ อภิเสกฐ์ สุวรรณสะอาด^{3*}

^{1,2}คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

³คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

¹E-mail: nichapha.min@rmutr.ac.th

²E-mail: prapat.see@rmutr.ac.th, ^{3*}E-mail: apised.suwa@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา การพัฒนาชั้นรองพื้นทางบดอัดจากกากชี้แบ่งยางผสมซีเมนต์และกระดาษหนังสือพิมพ์เพื่อการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น ผลการศึกษาพบว่าจากการออกแบบส่วนผสมจำนวน 5 สูตร วัสดุ กากชี้แบ่งยาง : ซีเมนต์ : กระดาษ ที่อัตราส่วนผสม 934:100:50 (กิโลกรัม) มีค่าการบดอัด และมีค่าซีบีอาร์ ดีที่สุด เมื่อพิจารณาความเหมาะสมต่อการใช้งานในชั้นทางต่างๆ พบว่าอยู่ในระดับพอใช้ในงานวัสดุคันทาง เนื่องจากกากชี้แบ่งยางมีคุณสมบัติเป็นวัสดุมวลเบา (กรมทางหลวง) เมื่อนำมาผสมกับซีเมนต์และกระดาษเพื่อปรับปรุงให้มีคุณสมบัติทางวิศวกรรม พบว่ามีแนวโน้มที่จะนำมาใช้เพิ่มเสถียรภาพของคันทางและลดการทรุดตัวลง และเมื่อนำกระดาษมาผสมกับกากชี้แบ่งยางซีเมนต์ดังกล่าว ในอัตราส่วน 10, 25 และ 50 กิโลกรัม ตามลำดับ จะทำให้มีความสามารถในการรับน้ำหนัก (CBR) เพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 0.99–3.90 % ตามปริมาณกระดาษที่ใส่เพิ่มเข้าไป โดยที่อัตราการพองตัวลดลงเมื่อปรับปรุงกากชี้แบ่งยางด้วยปูนซีเมนต์และกระดาษหนังสือพิมพ์

คำสำคัญ: ชั้นรองพื้นทาง ชี้้แบ่งยาง กระดาษหนังสือพิมพ์ น้ำยางชั้น ของเหลือทิ้ง

* Corresponding author, e-mail: apised.suwa@rmutr.ac.th

Abstract

This research is to study Sub Base Compaction from Rubber Latex Sludge Mixed Cement and Newspaper for Adding value Waste from Latex Factory. The results showed that, from the design of 5 formulas, the materials Rubber cake pulp: Cement: Paper at ratio 934: 100: 50 (kg) has the best CBR when considering the suitability for use in different ways. It was found to be at a fair level in material handling. Because of the rubber dough residue, it is a lightweight material (Department of Highways) when mixed with cement and paper to improve its engineering properties. It was found to be more likely to be used to improve the stability of the itch and to reduce the collapse. When the paper is mixed with the cementitious us pulp in the ratio of 10, 25 and 50 kg, respectively, it will increase the capacity (CBR.) To increase from 0.99 to 3.90% according to the amount of paper. Added the rate of swelling decreases when the rubber granules are removed with cement and newspaper.

Keywords: Pavement, Rubber Latex Sludge, Newspaper, Latex, Waste

1. ที่มาและความสำคัญ

ผลผลิตยางธรรมชาติโดยประมาณร้อยละ 70 มาจากแหล่งผลิตที่สำคัญ คือ ไทย อินโดนีเซีย และ มาเลเซีย โดยไทยเป็นประเทศที่ผลิตรายการยางธรรมชาติรายใหญ่ที่สุด ซึ่งเน้นการผลิตยางแผ่นรมควันและน้ำยางข้น ในปัจจุบันศักยภาพการผลิตยางธรรมชาติของมาเลเซียเริ่มลดลง เนื่องจากขาดแรงงานและมีการปรับเปลี่ยนพื้นที่การปลูกยางมาปลูกปาล์มน้ำมันแทน และหันมาสนับสนุนอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางภายในประเทศ โดยเน้นการใช้ยางธรรมชาติที่ผลิตได้ในประเทศ ซึ่งปัจจุบันไม่เพียงพอความต้องการจึงต้องนำเข้าน้ำยางดิบ จากประเทศไทยบางส่วน ซึ่งนับได้ว่าประเทศไทยส่งออกน้ำยางข้นสู่ตลาดโลกเป็นอันดับ 1 กระบวนการผลิต น้ำยางข้นต้องตกตะกอนแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติทำให้เกิดของเหลือทิ้งที่เรียกว่า กากชีแป้ง (คุลยา ศรีโยม, 2556) กากชีแป้งยังพาราเป็นของเสียจากการผลิตน้ำยางข้นที่ทางโรงงานไม่ต้องการ ปัจจุบัน ยังมีการกำจัดทิ้งด้วยวิธีการที่ไม่เหมาะสม โดยการทิ้งไปหรือใช้ในการถมพื้นที่ ถนนรวมทั้งเผาทิ้งซึ่งกล่าว ได้ว่า กากชีแป้งซึ่งเป็นของทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น ปัญหามลพิษทาง ดิน น้ำ และอากาศ หากจัดการไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ (วัชรพร ป้องกาน, 2551) ซึ่งได้มีหลายงานวิจัยศึกษาแล้วพบว่ากากชีแป้งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย อย่างไรก็ตามกากชีแป้ง ยังมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญของพืช (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี และคณะ, 2553) เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม

จากการเติบโตทางเศรษฐกิจที่สูงขึ้น ส่งผลให้การจราจรคับคั่งมากขึ้น ถนนชำรุดเสียหายเร็วขึ้นและ ต้องเสียงบประมาณในการซ่อมแซมบำรุงรักษามากขึ้น จึงได้มีแนวคิดที่จะเปลี่ยนรูปแบบการก่อสร้างถนน

เนื่องจากเท่าที่ผ่านมายังไม่มีการทำชั้นรองพื้นทางดินบดอัดจากกากซีเมนต์และกระดาษหนังสือพิมพ์ ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางชั้นส่วนใหญ่จะนำกากซีเมนต์ฝักรวมภายในบริเวณโรงงาน ซึ่งมีการศึกษาการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์อย่างถูกต้องเหมาะสมภายใต้โครงการบริหารจัดการด้านมลพิษและสิ่งแวดล้อมของโรงงาน (พิศุทธิ์ ศิริพันธ์และคณะ, 2557) เพื่อเพิ่มมูลค่าให้สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดหรือการฝังกลบภายในบริเวณโรงงาน ซึ่งเป็นการจัดการไม่เหมาะสม หากไม่ทำการศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับแนวทางการกำจัดกากซีเมนต์และกระดาษให้ดีกว่าที่ควร เนื่องจาก การจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วจากโรงงานอุตสาหกรรม จะต้องดำเนินการตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548

ทุกวันนี้ คนส่วนใหญ่ในสังคมไทยบริโภคข้าวผ่านช่องทางออนไลน์มากขึ้น และใช้วิธีการอ่านข่าวผ่านหนังสือพิมพ์ลดน้อยลง แต่ยังคงมีอยู่บ้างในกลุ่มคนผู้สูงอายุ ปัจจุบันพบว่าปัญหาใหญ่ของขยะประเภทหนึ่งคือ ขยะจากผลิตภัณฑ์ในรูปกระดาษที่ผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก และในจำนวนที่ผลิตออกมาอย่างมหาศาลนี้มี ไม่เกิน 30% ที่ได้มีการนำกระดาษที่ใช้แล้วไปทำผลิตภัณฑ์ใหม่อีกครั้ง (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2562) หนังสือพิมพ์เป็นผลิตภัณฑ์จากกระดาษที่มีการผลิตขึ้น เพื่อการให้ข้อมูลข่าวสารซึ่งปัจจุบันมีจำนวนมากมายมหาศาล ซึ่งหลังจากอ่านแล้วทิ้งไปกลายเป็นขยะ ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์และสร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อม มีเพียง 3% ของกระดาษหนังสือพิมพ์เท่านั้นที่สามารถนำไปผลิตเป็นสิ่งพิมพ์ได้ใหม่ (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกรรังษี, 2558) จำนวนหนังสือพิมพ์ที่ใช้แล้วจึงกลายเป็นขยะอยู่ในแหล่งทิ้งขยะ ซึ่งนับว่าเป็นการใช้ทรัพยากรที่สิ้นเปลืองที่สุด เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษส่วนใหญ่คือ เส้นใยที่ได้จากต้นไม้

ในสมัยนี้มีวิธีการปรับปรุงเพิ่มความแข็งแรงของชั้นรองพื้นทางบดอัดเพื่อนำไปใช้ในงานโยธาด้วยการเติมซีเมนต์ ซึ่งจะก่อให้เกิดความแข็งแรงขึ้นจริง แต่ก็เปราะตามคุณสมบัติของซีเมนต์ ดังนั้นแนวคิดที่จะผสมเส้นใยลงไปเพื่อเพิ่มความทนทาน โดยตัวเลือกที่ใช้คือเศษหนังสือพิมพ์เก่า ซึ่งมีเส้นใยธรรมชาติที่เกิดจากการทำลายต้นไม้มาใช้ในขั้นตอนการผลิตกระดาษนำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งมีคุณสมบัติดูดน้ำได้ดี เมื่อนำกากซีเมนต์มาผสมซีเมนต์และกระดาษ จะทำให้ชั้นพื้นทางบดอัดมีความแข็งแรง เน้าเปื่อยยาก น้ำผ่านยาก ทนทานต่อสภาพสลับแห้งชื้น ทนทานต่อแรงสั่นสะเทือน จึงรับมือแผ่นดินไหวได้ดี เกิดปรากฏการณ์แปลงสภาพเป็นของเหลว (liquefaction) ยาก และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดินมากกว่าซีเมนต์ จึงสามารถยึดเกาะกับดินเดิมได้ดี

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำงานวิจัยเรื่อง “ชั้นรองพื้นทางบดอัดจากกากซีเมนต์และกระดาษหนังสือพิมพ์เพื่อการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น ” โดยมีการศึกษาแนวทางการจัดการกากซีเมนต์และกระดาษให้เกิดประโยชน์ในทางวิศวกรรม โดยแนวความคิดที่จะนำกากซีเมนต์และกระดาษมาผสมเข้ากับซีเมนต์และกระดาษหนังสือพิมพ์ เพื่อทำการบดอัดและศึกษาค่า CBR โดยการนำคุณสมบัติเส้นใยกระดาษหนังสือพิมพ์และซีเมนต์ มาเสริมความแข็งแรงให้กับกากซีเมนต์

และเหตุผลของการเลือกใช้กากซีเมนต์อย่างพารา ก็เพื่อคุณประโยชน์ทางด้านการศึกษานำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์อย่างถูกต้องเหมาะสมนับว่าเป็นการบริหารจัดการด้านมลพิษและสิ่งแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น จึงเป็นการดีที่นักวิจัยสามารถนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ได้ใช้งานแล้ว เช่น กากซีเมนต์อย่างพารา มาใช้งานอุตสาหกรรมสิ่งก่อสร้าง ด้านวิศวกรรมทางให้เกิดประโยชน์ นับได้ว่าเป็นการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากของเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น ให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น

2. ขั้นตอนการวิจัย

2.1 การเตรียมวัสดุและตัวอย่างทดสอบ

2.1.1 ศึกษาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ และกระดาษหนังสือพิมพ์

2.1.2 ศึกษาคุณสมบัติของกากซีเมนต์อย่างพารา

2.1.3 เตรียมกากซีเมนต์อย่างพารา ปูนซีเมนต์ และกระดาษหนังสือพิมพ์

2.2 การผลิตตัวอย่างทดสอบ

เตรียมกากซีเมนต์อย่างพาราใส่ภาชนะใส่เศษกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ผ่านการย่อยให้มีขนาดไม่น้อยกว่า

1.50 ซม. x 1.50 ซม.ตามสัดส่วน (ประมาณ 50 กิโลกรัม/กากซีเมนต์อย่าง 1 ลูกบาศก์เมตร)

2.2.1 นำส่วนผสมมากวนให้เข้ากัน เศษหนังสือพิมพ์จะดูดน้ำ และเส้นใยจะยึดกากซีเมนต์อย่างเข้าไว้ด้วยกันอย่างซับซ้อน ทำให้กากซีเมนต์เป็นเนื้อมากขึ้น หยิบจับได้

2.2.2 ใส่ซีเมนต์ตามสัดส่วน (สัดส่วนการผสมโดยประมาณ สำหรับกากซีเมนต์อย่าง 1 ลบ.ม. ที่มีสัดส่วนปริมาณความชื้น 100% ใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ 50 กิโลกรัม ปูนซีเมนต์ 100 กิโลกรัม)

2.2.3 กวนผสมให้เข้ากัน ซีเมนต์จะเพิ่มความแข็งแรงให้กากซีเมนต์อย่าง เส้นใยจะไม่เน่าเปื่อย ได้เป็นกากซีเมนต์ที่แข็งแรงและทนทาน

2.2.4 วางกากซีเมนต์อย่างผสมปูนซีเมนต์ และกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ได้ทิ้งไว้ 3 - 7 วัน ให้ซีเมนต์เซตตัว แล้วนำไปบดอัดได้เหมือนชั้นรองพื้นทางทั่วไป หากมีความจำเป็นด้านเวลาต้องการให้ซีเมนต์เซตตัวเร็ว ก็เติม powder polymer ลงไปแล้วสามารถขนย้ายนำไปใช้ได้เลย โดยทั่วไปกากซีเมนต์อย่างผสมปูนซีเมนต์ และกระดาษหนังสือพิมพ์ ที่ได้จะมีความแข็งแรงสูงสุดเมื่อทิ้งไว้ประมาณ 28 วัน กรณีเป็นคันดินในช่วงแรก หากมีฝนตกควรคลุมไว้ไม่ให้ถูกฝน

2.2.5 ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของกากซีเมนต์อย่าง ซีเมนต์ และกระดาษหนังสือพิมพ์

2.2.6 ทดสอบหาขนาดของเม็ดกากซีเมนต์อย่างโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน

2.2.7 ทดสอบหาขนาดเม็ดกากซีเมนต์อย่างโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

2.2.8 ทดสอบหาขีดจำกัดของอัตราเบอร์ก

2.2.9 ทดสอบการบดอัด Compaction Test

2.2.10 ทดสอบหาค่า California Bearing Ratio (CBR)

2.2.11 วิเคราะห์ผลการวิจัย ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบ

2.2.12 สรุปผลการทดสอบ เสนอแนะปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนการนำไปใช้งาน

3. เครื่องมือและวิธีการวิจัย

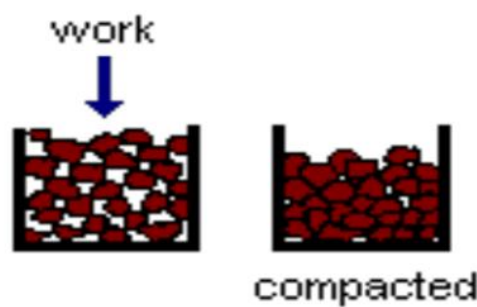
3.1 ทฤษฎีการบดอัด

3.1.1 การบดอัดดินงานส่วนใหญ่ในทางวิศวกรรมโยธา เช่น งานเขื่อน ถนนสนามบิน จะใช้ดินเป็นวัสดุถม (Fill Material) ซึ่งก่อนทำการก่อสร้างงานต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น จำเป็นต้องมีการบดอัดดินเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ คือ

3.1.1.1 ช่วยลดการทรุดตัวของดินในระยะยาว (Long term settlement)

3.1.1.2 ช่วยเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน (Increase shear strength)

3.1.1.3 เพื่อลดการซึมผ่านของน้ำใต้ดิน (Decrease soil permeability)



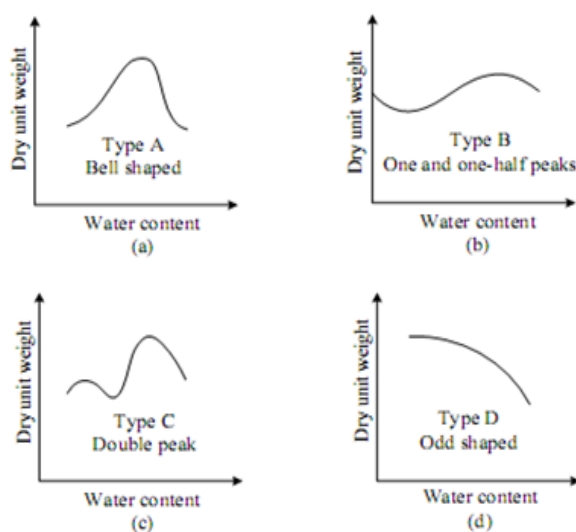
รูปที่ 1 การบดอัดดินเม็ด

3.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบดอัด

ปริมาณความชื้นในดินมีอิทธิพลอย่างมากต่อความหนาแน่นของดินบดอัด นอกเหนือจากปริมาณความชื้นแล้ว ยังมีปัจจัยอีกสองปัจจัย คือ ชนิดของดินและพลังงานในการบดอัด

3.2.1 ชนิดของดิน ชนิดของดินในที่นี้ครอบคลุมถึง การกระจายของเม็ดดิน รูปร่างของเม็ดดิน ความถ่วงจำเพาะของดินและปริมาณและชนิดของแร่ดินเหนียว

Lee and Sued kamp (1972) ศึกษากราฟการบดอัดดินของดินที่แตกต่างกัน 35 ชนิด และพบว่ากราฟเหล่านั้นสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 รูปแบบหลักดังแสดงในรูป 2 ชนิด A เป็น กราฟที่มีจุดยอดเพียงจุดเดียว โดยทั่วไปมักพบในดินที่มีขีดจำกัดเหลวประมาณร้อยละ 30-70 ชนิด B คือกราฟที่มี 1 จุดยอด และครึ่งจุดยอด ชนิด C คือกราฟที่มีสองจุดยอดกราฟชนิด B และ C มักพบในดินที่มีขีดจำกัดเหลวต่ำกว่าร้อยละ 30 ชนิด D คือ กราฟที่ไม่แสดงจุดยอดที่ชัดเจน ดินที่มีขีดจำกัดเหลวมากกว่าร้อยละ 70 อาจแสดงลักษณะกราฟเป็นแบบชนิด C หรือ D ซึ่งเป็นลักษณะกราฟที่ไม่ค่อยพบเห็น



รูปที่ 2 เส้นโค้งการบดอัดดิน

สำหรับการบดอัดดินเหนียว Horpibulsuk (2005) แสดงให้เห็นว่าเส้นกราฟการบดอัดแปรผันอย่างมากกับขีดจำกัดเหลว ขีดจำกัดเหลวยิ่งมาก หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดยิ่งมีค่าน้อยลงในขณะที่ปริมาณความชื้นเหมาะสมยิ่งมีค่ามากขึ้น การบดอัดของดินชนิดต่างๆ ที่พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified proctor test) การที่ขีดจำกัดเหลวมีอิทธิพลต่อเส้นกราฟการอัดตัวคายน้ำ เนื่องจากขีดจำกัดเหลวเป็นพารามิเตอร์ ที่สะท้อนผลของแร่ดินเหนียวและของเหลวในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (void ratio)

3.2.2 การบดอัดและคุณสมบัติเชิงวิศวกรรม

ในกรณีของดินเหนียว การเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นส่งผลให้ความสามารถในการไหลซึมลดลงในด้านหนึ่งของปริมาณความชื้นเหมาะสม (dry side of optimum moisture content) และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจะมีค่ามากขึ้นในด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสม นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของพลังงานการบดอัดจะช่วยลดสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ เพราะเป็นการช่วยเพิ่มความหนาแน่นแห้งสูงสุด

3.3 แนวทางการนำกากซีเมนต์จากการผลิตน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์

การจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วจากโรงงานอุตสาหกรรม จะต้องดำเนินการตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ซึ่งแนวทางการจัดการสิ่งปฏิกูลสำหรับโรงงานผลิตน้ำยางข้น ดังรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1 ชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

ชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูล	การจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว
----------------------------	---

หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว			
รหัส	ชื่อ	รหัส	ชื่อ
16 05 09	กากซีเมนต์	071	ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)
19 12 04	เศษยาง	011	คัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ (Sorting)
19 12 12	เศษดิน เปลือกไม้	071	ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)
19 08 14	กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	071	ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)

3.3.1 องค์ประกอบของกากซีเมนต์

มีลักษณะทางเคมี ที่มีค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าธาตุอาหารหลัก (N P และK) ค่า C/N และธาตุโลหะหนัก ได้แก่ โครเมียม ตะกั่ว สารหนู และทองแดง เป็นต้น เนื่องจากธาตุโลหะหนักมีปริมาณมากจะเป็นสารพิษต่อพืชหากมีการนำไปใช้เป็นปุ๋ย เป็นต้น ซึ่งจะไม่เหมาะสมในการดำเนินการทำปุ๋ย แต่เหมาะสำหรับการนำมาผสมกับซีเมนต์ในพื้นที่ทางเพราะเมื่อธาตุโลหะหนักทางเคมีผสมกับปูนซีเมนต์จะทำให้ค่าความเป็นพิษเจือจาง และช่วยปรับปรุงคุณภาพของวัสดุพื้นทางเป็นไปตามมาตรฐาน จากข้อมูลจากการวิเคราะห์หาสัดส่วนการหมักปุ๋ย ซึ่งผลการวิเคราะห์กากซีเมนต์จากเครื่องปั่นแยกน้ำยาง และบดตะกอนซีเมนต์เทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

3.3.2 สมบัติทางกายภาพ

กากซีเมนต์มีค่า pH ค่อนข้างเป็นเบส มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.02-1.26 กรัม/มล. ปริมาณของแข็งทั้งหมดในกากซีเมนต์ประกอบด้วยฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม ส่วนองค์ประกอบอื่นได้แก่ โปรตีน และไขมัน เป็นต้น หลังการเผากากซีเมนต์ที่อุณหภูมิ $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$ พบว่า ประกอบด้วยสารพวกซีเมนต์คาร์บอนและโลหะหนักซึ่งเป็นของแข็งที่คงอยู่ ส่วนของแข็งที่ระเหยได้ซึ่งเป็นสารอินทรีย์อื่นที่เจือปนอยู่จะระเหยไป

3.3.3 สมบัติทางเคมี

กากซีเมนต์ มีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ทางเกษตร โดยมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ไม่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน และ NH_3 ที่รวมกับ Mg ในรูปตะกอนโลหะไอออนในน้ำยาง ส่วน K เป็นองค์ประกอบของธาตุอาหารในดิน ซึ่งรากดูดซึมมาเลี้ยงลำต้น มีปริมาณมากเพียงพอจึงเหลืออยู่ในส่วนของน้ำยาง ธาตุโพแทสเซียมสามารถละลายน้ำออกไป ส่วนที่เหลือซึ่งปนอยู่ในกากซีเมนต์หลังการเซนตริฟิวจ์จึงมีปริมาณน้อย Mg ที่พบในกากซีเมนต์ส่วนใหญ่เป็นตะกอนของ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ มีปริมาณสูง (5-15%) ส่วน Zn ส่วนใหญ่มาจากสารเคมีเก็บรักษาน้ำยางที่เติมลงไประหว่างการเก็บรักษาน้ำยาง

ซึ่งแหล่งที่มื่อน้ำยางและกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นของแต่ละโรงงานจะแตกต่างกัน โดย Zn ในน้ำยางส่วนใหญ่เป็นสารประกอบ Zn ที่เติมลงไปในน้ำยาง เช่น ZnO นอกจากนี้ Zn ที่พบจะเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิดในเซลล์พืช สำหรับไอออนของ Zn ที่มีอยู่ในน้ำยางทำให้อนุภาคยางจับตัวและแยกตัวลงสู่ก้นภาชนะ

3.4 การนำกระดาษหนังสือพิมพ์มาเป็นวัสดุเสริมแรงและการย่อยสลาย

เนื่องจากหนังสือพิมพ์เป็นเส้นใยธรรมชาติ เกิดจากการแปรรูปจากพืชเพื่อได้เส้นใยและเข้าสู่กระบวนการผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์ ซึ่งหนังสือพิมพ์มีการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน จะใช้อัตราส่วนที่แตกต่างกันด้วย เพื่อให้สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจุลินทรีย์ต้องการแสง น้ำ และออกซิเจน ในการช่วยย่อยสลายทางชีวภาพ อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ เนื่องจากในสภาพอากาศอบอุ่นทำให้จุลินทรีย์มีแนวโน้มทำงานช้าๆได้เร็วขึ้น สำหรับกระดาษนั้น ถ้าทดสอบระยะเวลาในการย่อยสลาย โดยการนำไปไว้ในน้ำทะเล ปรากฏว่าต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ระยะเวลาในการย่อยสลาย

ผลิตภัณฑ์	ระยะเวลาย่อยสลายทางชีวภาพ
กระดาษทั่วไป	1-3 เดือน
กระดาษชำระเนกประสงค์	2-4 สัปดาห์
กล่องกระดาษลูกฟูก	2 เดือน
กล่องกระดาษเคลือบพลาสติก	5 ปี
กล่องกระดาษเคลือบมัน	3 เดือน

4. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของกากซีแพ่งยาง (Specific Gravity of soil)

พบว่าไม่สามารถหาค่า ความถ่วงจำเพาะของกากซีแพ่งยางได้ เนื่องจากกากซีแพ่งยางเมื่อละลายน้ำจะมีลักษณะเป็นสารแขวนลอย ดังนั้นในการหาค่า ความถ่วงจำเพาะของกากซีแพ่งยาง จึงต้องใช้เครื่องมือและห้องทดลองที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการทางด้านวิทยาศาสตร์ ค่าความถ่วงจำเพาะของกากซีแพ่งยางมีค่าเท่ากับ 0.934 ที่ 20 °C ทั้งนี้มาจากกระบวนการแยกเนื้อยางออกจากรูน้ำยาง (ภิรมย์ขวัญ ชินวงศ์และคณะ, 2557)โดยทำให้ง่ายจับตัวกันเป็นก้อนโดยใช้น้ำกรด ซึ่งเราจะพบว่าซีแพ่งยางเมื่อละลายน้ำ จะมีลักษณะเป็นสารแขวนลอย เนื่องจากซีแพ่งยางเป็นของเสียในกระบวนการทำน้ำยางชั้นในอุตสาหกรรมยางพารา เพราะมีประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำหนักรูยางสด

4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติการปรับปรุงกากซีแพ่งยาง

โดยการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction) ของกากซีเมนต์, กากซีเมนต์ผสมซีเมนต์ รวมทั้งกากซีเมนต์ผสมซีเมนต์และกระดาษหนังสือพิมพ์ตามอัตราส่วนต่างๆ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมของการปรับปรุงกากซีเมนต์

ลำดับที่	วัสดุ	อัตราส่วน	
1	กากซีเมนต์	1,000	กิโลกรัม
2	กากซีเมนต์ : ซีเมนต์	1,000: 100	กิโลกรัม
3	กากซีเมนต์ : ซีเมนต์ : กระดาษ สูตร 1	1,000:100: 10	กิโลกรัม
4	กากซีเมนต์ : ซีเมนต์ : กระดาษ สูตร 2	1,000:100: 25	กิโลกรัม
5	กากซีเมนต์ : ซีเมนต์ : กระดาษ สูตร 3	1,000:100: 50	กิโลกรัม

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการบดอัดกากซีเมนต์ (Compaction) โดยการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction) ของกากซีเมนต์ตัวอย่าง

ประเภทของดิน	Modified Compaction	
	OMC (%)	MDD (kg/m ³)
กากซีเมนต์	17.58	1,076.4
กากซีเมนต์ : ซีเมนต์	-	-
กากซีเมนต์ : ซีเมนต์ : กระดาษ สูตร 1	18.24	1,160.2
กากซีเมนต์ : ซีเมนต์ : กระดาษ สูตร 2	16.55	1,166.2
กากซีเมนต์ : ซีเมนต์ : กระดาษ สูตร 3	18.16	1,176.8

หมายเหตุ OMC เพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณของเส้นใย เพราะเส้นใยธรรมชาติเป็นตัวกำหนดในการช่วยเสริมแรง

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของวัสดุเทียบกับหินบดมาตรฐาน (California Bearing Ratio, CBR) โดยการทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked) ของกากซีเมนต์

ประเภทของดิน	Water content (%)	Dry density kg/m. ³	Swell (%)	CBR (%)
กากซีเมนต์	19.48	696	0.96	0.99
กากซีเมนต์ : ซีเมนต์	-	-	-	-
กากซีเมนต์ : ซีเมนต์ : กระดาษ สูตร 1	20.61	646	-	3.32

ประเภทของดิน	Water content (%)	Dry density kg/m. ³	Swell (%)	CBR (%)
กากซีเมนต์ : ซีเมนต์ : กระดาช สูตร 2	18.39	674	-	2.67
กากซีเมนต์ : ซีเมนต์ : กระดาช สูตร 3	20.73	700	-	3.90

หมายเหตุ กำหนดน้ำตามมาตรฐานการทดสอบ California Bearing Ratio, CBR

ตารางที่ 6 ค่า CBR ที่เหมาะสมต่อการใช้งานชั้นทางต่างๆ

CBR	ระดับความเหมาะสม	การใช้งาน
0 – 3	ใช้ไม่ได้ (very poor)	วัสดุชั้นคันทาง (Subgrade)
3 – 7	ไม่ดีถึงพอใช้ (poor to fair)	วัสดุชั้นคันทาง (Subgrade)
7 – 20	พอใช้ (fair)	วัสดุชั้นรองพื้นทาง (Subbase)
20 – 50	ดี (good)	วัสดุชั้นรองพื้นทาง, ชั้นพื้นทาง
50 – 80	ดีมาก (very good)	วัสดุพื้นทาง (Base)
> 80	ดีที่สุด (excellent)	วัสดุพื้นทาง (Base)

5. อภิปรายผลการวิจัย

จากการตั้งสมมติฐานที่ว่า การนำกากซีเมนต์อันเป็นของเหลือทิ้ง นอกจากหมที่แล้วยังสามารถนำมาใช้ในงานวิศวกรรมทางได้หรือไม่ ถ้าได้ต้องปรับปรุงอย่างไรให้ได้มาตรฐานและประหยัดที่สุด ผลจากงานวิจัยนี้ให้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะดังนี้

เมื่อนำกระดาชมาผสมกับกากซีเมนต์ดังกล่าวในอัตราส่วน 10, 25 และ 50 กิโลกรัมตามลำดับ จะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนัก (CBR.) เพิ่มขึ้นจากเดิม เป็น 0.99 - 3.90 % ตามปริมาณกระดาชที่ใส่เพิ่มเข้าไป โดยที่อัตราการพองตัวลดลงเมื่อปรับปรุงกากซีเมนต์ด้วยปูนซีเมนต์และกระดาช (การพองตัวอยู่ในช่วง 0.96% โดยเป็นเพียงสูตรที่ 1 เท่านั้น)

จากผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับค่า CBR ที่เหมาะสมต่อการใช้งานชั้นทางต่างๆ พบว่าเมื่อปรับปรุงคุณภาพกากซีเมนต์ด้วยการผสมซีเมนต์ และผสมซีเมนต์กับกระดาชในอัตราส่วนต่าง ๆ อยู่ในระดับพอใช้สำหรับทำดินคันทาง

ผลการเปรียบเทียบราคาการปรับปรุงกากซีเมนต์ด้วยซีเมนต์และกระดาชจากผลการเปรียบเทียบราคาพบว่า กากซีเมนต์ที่เติมซีเมนต์และกระดาชในอัตราส่วน 1,000 : 100 : 50 กิโลกรัม โดยราคาซีเมนต์ 1 ลูกบาศก์เมตร ไม่มีราคา เพราะเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น เมื่อผสมกับซีเมนต์และกระดาชเหลือใช้ จากการเปรียบเทียบราคาพบว่าถูกกว่าดินถมทั่วไป 315 บาท/ลูกบาศก์เมตร และถูกกว่าดิน

ลูกครึ่ง 340 บาท/ลูกบาศก์เมตร (ยังไม่รวมค่าขนส่ง) หากต้องการนำผลการปรับปรุงคุณภาพกากซีเมนต์ไปใช้งานจริง เพื่อทดแทนดินถมทั่วไปหรือดินลูกรังจะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้อยอมรับคุณสมบัติทางวิศวกรรมได้หรือไม่

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ในการสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย และขอบคุณสำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช) ในการสนับสนุนงบประมาณ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2552). คู่มือการกำกับดูแลโรงงาน : อุตสาหกรรมที่มีกระบวนการรีด บด ผสมยาง. บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด. กรุงเทพฯ.
- [2] คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ, คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา. (2562). ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. กรุงเทพฯ.
- [3] คลุยา ศรีโยม. (2556). แผนธุรกิจผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาน้ำหนักเบาจากกากซีเมนต์ยางพารา (Business Plan of Lightweight Baked Clay Product from Concentrated Latex Industry Waste Residue). การประชุมหาดใหญ่วิชาการ ครั้งที่ 4.
- [4] พิศุทธิ์ ศิริพันธุ์, จิรศักดิ์ จินดาโรจน์และทรงกลด จารุสมบัติ. (2557). กากซีเมนต์ของเสียจากโรงงานผู้ผลิตอิฐที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยการมีส่วนร่วมของชุมชน. วารสารการจัดการป่าไม้ 8(16) : 53-63.
- [5] ภิรมย์ขวัญ ชินวงศ์, เกริกชัย ธนรักษ์ และอรรณพ ศิริรัตน์พิริยะ (2557). ผลของการใช้กากซีเมนต์เป็นแหล่งแมกนีเซียมเพื่อการเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15. 776-782.
- [6] วชิราพร ป้องกาน. (2551). โครงการนำของเสียกากซีเมนต์จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้นไปเป็นส่วนประกอบในวัสดุก่อสร้าง. โครงการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [7] วีรยา ฉิมอ้อย และ ศิริวิทย์ นวะยศ (2553). พฤติกรรมของดินทรายที่มีขนาดละเอียด เมื่อปรับปรุงด้วยซีเมนต์สำหรับงานทาง (Behavior of Poorly Graded Sand Stabilized with Cement For Road Construction). ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [8] สติธย์ ชินอ่อน (2556). คุณสมบัติการบดอัดและค่าซีพีอาร์ของดินถมคันทาง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

- [9] เสาวนีย์ ก่ออุฒิกุลรังษี, สมพร ประเสริฐสงสกุลและยุพดี ชัยสุขสันต์. (2558). นวัตกรรมการลดกลิ่นกากชี้แบ่งน้ำยาง. วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Journal of Energy and Environment Technology).2(2) : 42-54.
- [10] อารุช โพธิ์อุฒม แลคคณะ (2553). การศึกษาประเมินความแข็งแรงของวัสดุผิวทางเดินปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บดอัดแน่น. วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ISSN: 1685-9317.
- [11] Lee, P. Y., and Suedkamp, R. J., (1972) “Characteristics of Irregularly Shaped Compaction Curves., “1 st Annual Meetin of Hi hwa Research Board, National Research Council, to be Published in HRB Bulletin).
- [12] Suksun H., Chayakrit P., Avirut C. and Arnon C., (2005). Strength development in silty clay stabilized with calcium carbide residue and fly ash. Soils and Foundations. Volume 53, Issue 4, August 2013, Pages 477-486.