รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การใช้กากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้นและขี้เถ้าจากโรงงานยางแผ่นรมควันเพื่อเป็นวัสดุผสมสำหรับผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งเพื่องานตกแต่ง

Utilization of centrifuged residue from concentrated latex factories and ash from smoked rubber sheet factories as a binder in solidification of decorated materials

โดย ผศ. เจิดจรรย์ ศิริวงศ์ และคณะ

ธันวาคม 2552

สัญญาเลขที่ RDG5150038

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การใช้กากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้นและขี้เถ้าจากโรงงานยางแผ่นรมควันเพื่อเป็นวัสดุผสมสำหรับผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งเพื่องานตกแต่ง

Utilization of centrifuged residue from concentrated latex factories and ash from smoked rubber sheet factories as a binder in solidification of decorated materials

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ผศ. เจิดจรรย์ ศิริวงศ์	คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม
2. ผศ. ดร. พรทิพย์ ศรีแดง	คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. ผศ. ดร. สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
4. นส. กิตติมา มากดำ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
5. นส. อุทร ศรีวิเชียร	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
6. นส. ทัสมณฑน์ คงสงค์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
7. นส. ภาวิณี เพชร จำรัส	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติ :ยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
สารบัญเรื่อง	ก
สารบัญรูป	ข
สารบัญตาราง	ค
บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร	ง
บทคัดย่อ	ซ
ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	1
วัตถุประสงค์	2
ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง	2
วิธีการ	4
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	10
สรุปผล	29
ข้อเสนอแนะ	30
เอกสารอ้างอิง	30

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1. ผลการทดสอบการแข็งตัวในขั้น pre screening	18
2. การขึ้นรูปก้อนแผ่นแข็ง	18
3. ผลการขึ้นรูปวัสดุแผ่นแข็งที่ไม่ต้องรับแรงมาก และใช้โชว์ความสวยงาม	27
4 . ผลการขึ้นรูปวัสดุก้อนแข็งที่สามารถตกแต่งสวนในด้านเป็นวัสดุประดับและเป็นธาตุอาหารให้พืชได้	28

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. การผสมโดยใช้กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆ และกากของเสียจากอุตสาหกรรม ต่างๆ	7
2. การทดลองเพื่อหาสูตรการผสมการทำแผ่นก้อนแข็งจากกากขี้แป้งและขี้เถ้า	8
3. ปริมาณการเกิดกากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้น	11
4. ผลการศึกษาคุณลักษณะของกากขี้แป้ง	12
5. ลักษณะทางเคมีของกากขี้แป้งโดยใช้ X-Ray Fluorescence	13
6. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของขี้เถ้าจากโรงรมยาง	15
7. ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกากขี้แป้งและขี้เถ้าที่ใช้ในการทดลอง	16
8. ผลการทดสอบเบื้องต้นเพื่อศึกษาการแข็งตัวของกากขี้แป้ง ขี้เถ้าและวัสดุผสมอื่นๆ	17
9. แสดงลักษณะทางกายภาพของก้อนแข็งที่ได้	19
10. ค่าการรับแรงอัดของวัสดุก้อนแข็งที่ทดสอบ	21
11. ค่าความเป็นกรดด่าง, TDS และTDVSของน้ำที่ผ่านการชะล้างและการชะซึมของวัสดุก้อนแข็ง	22
12. ค่า TN, TP, TK, Mg และ Zn ในน้ำชะล้างและการชะซึมของวัสดุก้อนแข็งที่ทดสอบ	23
13. ค่า pH และ Zn ในของเหลวที่ได้จากการสกัดวัสดุก้อนแข็งด้วยวิธี wet extraction test	25
14. ลักษณะทางเคมีของวัสดุก้อนแข็งจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF	26

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย): การใช้กากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้น และขี้เถ้าจากโรงงานยางแผ่นรมควันเพื่อเป็นวัสดุผสมสำหรับผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งเพื่องานตกแต่ง

(ภาษาอังกฤษ): Utilization of centrifuged residue from concentrated latex factories and ash from smoked rubber sheet factories as a binder in solidification of decorated materials

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

ชื่อ-สกุล : ผศ. เจิดจรรย์ ศิริวงศ์

หน่วยงาน: คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ที่อยู่ : คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ต. คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา 90110

โทรศัพท์ 074-429758, 081-5995061 **โทรสาร** : 074-429758 **E-mail** : cherdchan.s@psu.ac.th

นักศึกษา/ผู้ร่วมวิจัย

นักศึกษา

1. นางสาว กิตติมา มากดำ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
2. นางสาว อุทร ศรีวิเชียร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
3. นางสาว ทัสมณฑน์ คงสงค์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
4. นางสาว ภาวิณี เพชรจำรัส คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ผู้ร่วมวิจัย

1. ผศ.ดร. สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
2. ผศ.ดร. พรทิพย์ ศรีแดง คณะวิศวกรรมศาสตร์

ระยะเวลาดำเนินการ 9 เดือน ตั้งแต่วันที่ 15 กรกฎาคม 2551 ถึงวันที่ 14 เมษายน 2552

ปัญหาที่ทำการวิจัยและความสำคัญ

ในปัจจุบันเห็นว่าการจัดการกากของเสียในรูปกากขี้แป้ง และขี้เถ้าในอุตสาหกรรมยางพารา ยังเป็นรูปแบบที่อาจสร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อมได้ในระยะยาว หากมีแนวทางการจัดการที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นของกากของเสียของอุตสาหกรรมยางพารานี้ ก็จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมของการดำเนินการของอุตสาหกรรมยางได้อย่างยั่งยืนมากขึ้น ทั้งนี้แนวทางหนึ่งคือการคิดใช้ประโยชน์จากของเสียเหล่านี้ให้มากขึ้น มากกว่าการคิดกำจัดทิ้งไป การศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นให้มีการใช้ของเสียของกากขี้แป้งและขี้เถ้าของอุตสาหกรรมยางพารา มาเป็นสารยึดประสานในวัสดุก้อนแข็ง เพื่อใช้งานตกแต่งสวน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบถึงอัตราการผลิตและคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากขี้แป้ง และขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและโรงรมยาง โดยเน้นคุณลักษณะในด้านเป็นสารยึดประสาน

2. การพัฒนาเทคนิคในการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าเป็นสารยึดประสานร่วม กับวัสดุธรรมชาติอื่นๆ เพื่อทำเป็นวัสดุก้อนแข็งเพื่อใช้ในงานตกแต่ง

3. การทดสอบวัสดุก้อนแข็งที่สร้างขึ้นโดยใช้ กากขี้แป้งและขี้เถ้าจากโรงงานน้ำยางข้น และโรงรมยางเป็นสารยึดประสาน เพื่อให้ทราบข้อมูลคุณลักษณะต่างๆโดยวัดทั้งในเชิงกายภาพ เคมี และเชิงวิศวกรรม

4. การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้ของเสียในรูปกากขี้แป้ง และขี้เถ้ามาใช้เป็นวัสดุยึดประสานสำหรับทำวัสดุก้อนแข็งเพื่อใช้ในงานตกแต่ง

ผลการดำเนินงาน

การดำเนินการวิจัยนี้อยู่ภายใต้หลักการของ การสร้างองค์ความรู้และพัฒนาเทคโนโลยีในด้านการใช้ ของเสียจากอุตสาหกรรมยางพารามาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ภายใต้การใช้ศักยภาพการใช้งานในด้านการทำเป็นวัสดุก้อนแข็ง มีขั้นตอนการวิจัยคือ **1)**ศึกษาอัตราการผลิต/การเกิดกากขี้แป้งและขี้เถ้าจาก โรงงานน้ำยางข้น และโรงรมยาง **2)**การศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของกากขี้แป้งและขี้เถ้าโดยเน้นการศึกษาจากองค์ประกอบและปริมาณในส่วนประกอบที่ทำให้เป็นสารยึดประสาน เช่น SiO_2, Al_2O_3 และCaO ฯลฯ **3)** การศึกษาเพื่อให้ได้มาของสูตรการผสมของกากขี้แป้ง ขี้เถ้า และ additiveในการทำเป็นวัสดุแผ่นก้อน แข็งที่เหมาะสม 1-3 สูตร ภายใต้ภาวะการทดลองที่มีการศึกษาดำเนินการ เป็น 3 ช่วง คือขั้นแรกทำการศึกษาขั้นทดลองเบื้องต้นแบบ pre screening ขั้นที่สองการทดลองผสมเพื่อหาสูตรในการทำก้อนแข็ง โดยทำการผสมวัสดุต่างๆจำนวน 24 ชุด และนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี โดยหาค่าความพรุน การทดสอบเพื่อสกัดและการชะออก (extraction and leaching test) โดยใช้วิธีทดสอบแบบทั้งก้อน ซึ่งใช้น้ำกลั่นเป็นตัวสกัด และการทดสอบการสกัดแบบบดย่อยวัสดุก้อนแข็ง โดยสกัดด้วยกรดซิตริกโดยการใช้วิธีตาม wet extraction test เพื่อประเมินความเป็นอันตรายของวัสดุก้อนแข็ง และได้มีการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุก้อนแข็งที่หล่อได้ โดยบดย่อยวัสดุก้อนแข็งแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometry **4)** การใช้ผลจากการศึกษาในข้อ 3 เพื่อมาใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ โดยทดลองทำการผลิตภัณฑ์วัสดุก้อนแข็งจำนวน 2 ผลิตภัณฑ์(2 รูปแบบ) โดยเปรียบ เทียบกับการผลิตวัสดุก้อนแข็ง เพื่อใช้ผลิตเป็นวัสดุตกแต่งงานสวน ที่ใช้เทคนิคการผลิตแบบการผสมแบบงานปูนที่ใช้ซีเมนต์เป็นสารยึดประสานหลัก และ **5)** การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

ผลการศึกษาพบว่า ชุดที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์มีความสามารถในการแข็งตัวได้เร็วกว่าชุดที่มีส่วนผสมของขี้เถ้าและกากขี้แป้ง และเมื่อมีการบ่มนานขึ้นจะให้ค่ารับแรงอัดมากขึ้น พบว่าชุดการผสมที่มีการเติมกากขี้เถ้ามากขึ้นจะให้ค่าการรับแรงอัดสูงกว่าการเติมกากขี้แป้ง การใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการผสมเพื่อขึ้นรูปเป็นวัสดุก้อนแข็งและนำไปทำการชะล้างโดยน้ำ จะทำให้เกิดการชะออกของสารอาหารพืชทั้งในรูป N, P และK ได้ รวมทั้งให้การชะออกของโลหะหนักในรูป Zn และ Mg ด้วย แต่เมื่อทำการทดสอบ

การชะออกของโลหะหนักดังกล่าวเพื่อประเมินความเป็นอันตรายโดยทดสอบกับวิธีของ wet extraction test พบว่าการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมยางพาราในการผสมเพื่อใช้ทำเป็นวัสดุก้อนแข็ง ไม่ก่อให้เกิดการความเป็นอันตรายในการชะออกของโลหะหนัก การใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการเป็นวัสดุผสมในการผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งสามารถใช้ประโยชน์ได้ในแง่การใช้ทดแทนวัสดุผสมหลักเช่นทราย แต่ไม่ให้ผลในการใช้ทดแทนซีเมนต์ การใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการเป็นวัสดุผสมในการผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งสามารถใช้ประโยชน์ได้ 2 รูปแบบคือ 1) วัสดุแผ่นแข็งที่ใช้ตกแต่งเพื่อความสวยงามและรับแรงอัดไม่มากและได้ผลพลอยได้จากเป็นแหล่งชะออกของสารอาหารพืช โดยสูตรผสมที่เหมาะสมประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ ทราย ขี้เถ้าและกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน 1:1:1:1 และ 2)วัสดุก้อนแข็งที่สามารถตกแต่งสวนในด้านเป็นวัสดุประดับกระถางต้นไม้และปิดดินใต้ต้นไม้ และใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารให้พืชได้ด้วย โดยสูตรผสมที่เหมาะสมประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ ขี้เถ้าและ กากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน1:1:2 และสูตรที่ประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ และกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน1:3 ต้นทุนในการผลิตวัสดุแผ่นแข็งที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ ทราย ขี้เถ้าและกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน 1:1:1:1 ซึ่งมีขนาดของแผ่นแข็ง เท่ากับ 30 x 30 x 5 cm^3 มีราคาต้นทุนรวมที่ติดจากค่าใช้จ่ายจากวัสดุหลักเท่ากับ 9.25 บาท/แผ่น

สรุปผลการวิจัย

1. โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีอัตราการผลิตกากขี้แป้งรวมเฉลี่ยจากทั้ง 3 จุดคือ บ่อพักน้ำยางสด ถังปั่นยางและบ่อจับยางสกิมเท่ากับ 3.35 ตัน/วัน หรือคิดเป็นอัตราการผลิตกากขี้แป้งรวมเฉลี่ยทั้งสิ้นเท่ากับ 40 กก./ตันน้ำยางข้น ในขณะที่โรงงานยางแผ่นรมควันมีอัตราการเกิดขี้เถ้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 65 กก./ตันยางแผ่นรมควัน โดยขี้เถ้าประกอบไปด้วยสารประกอบของMgO, Al_2O_3, SiO_2, SO_3, Cl, CaO, Fe_2O_3, MnO_2, ZnO, Rb, SrO, P_2O_5 และ K_2O โดยพบ CaO สูงสุดถึง 38.7%โดยเฉลี่ย และรองลงมาคือ K_2O(19.22%) และ SiO_2(6.11%)ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขี้เถ้าประกอบด้วยสารยึดประสานที่มากกว่ากากขี้แป้ง

2. ชุดที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ มีความสามารถในการแข็งตัวได้เร็วกว่าชุดที่มีส่วนผสมของขี้เถ้าและกากขี้แป้ง และเมื่อมีการบ่มนานขึ้นจะให้ค่ารับแรงอัดมากขึ้น พบว่าชุดการผสมที่มีการเติมขี้เถ้ามากขึ้นจะให้ค่าการรับแรงอัดสูงกว่าการเติมกากขี้แป้ง แสดงให้เห็นว่าขี้เถ้าช่วยเป็นสารยึดประสานได้ดีกว่ากากขี้แป้ง และการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการผสมเพื่อขึ้นรูปเป็นวัสดุก้อนแข็งและนำไปทำการชะล้างโดยน้ำ จะทำให้เกิดการชะออกของสารอาหารพืชทั้งในรูป N, P และ K ได้ รวมทั้งให้การชะออกของโลหะหนักในรูป Zn และ Mg ด้วย แต่เมื่อทำการทดสอบการชะออกของโลหะหนักดังกล่าวเพื่อประเมินความเป็นอันตรายโดยทดสอบกับวิธีของ wet extraction test พบว่าการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมยางพาราในการผสมเพื่อใช้ทำเป็นวัสดุก้อนแข็งไม่ก่อให้เกิดความเป็นอันตรายในการชะออกของโลหะหนัก การใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการเป็นวัสดุผสมในการผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งสามารถใช้ประโยชน์ได้ในแง่การใช้ทดแทน วัสดุผสมหลัก เช่นทราย แต่ไม่ให้ผลในการใช้ทดแทนซีเมนต์

3. การใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการเป็นวัสดุผสมในการผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็ง สามารถใช้ประโยชน์ได้ 2 รูปแบบคือ 1) วัสดุแผ่นแข็งที่ใช้ตกแต่งเพื่อความสวยงามและรับแรงอัดไม่มากและได้ผลพลอยได้จากเป็นแหล่งชะออกของสารอาหารพืช โดยสูตรผสมที่เหมาะสมประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ ทราย ขี้เถ้าและกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน 1:1:1:1 และ 2)วัสดุก้อนแข็งที่สามารถตกแต่งสวนในด้านเป็นวัสดุประดับกระถางต้นไม้และปิดดินใต้ต้นไม้และใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารให้พืชได้ด้วย โดยสูตรผสมที่เหมาะสมประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ ขี้เถ้าและกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน 1:1:2 และสูตรที่ประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ และกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน 1:3

4. ต้นทุนในการผลิตวัสดุแผ่นแข็งที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือทราย ขี้เถ้า และกากขี้แป้งจากถังปั่น ในอัตราส่วน 1:1:1:1 ซึ่งมีขนาดของแผ่นแข็ง เท่ากับ 30 x 30 x 5 cm^3 มีราคาต้นทุนรวมที่คิดจากค่าใช้จ่ายจากวัสดุหลักเท่ากับ 9.25 บาท/แผ่น หากเทียบกับราคาซื้อขายในท้องตลาดในปัจจุบัน สามารถกล่าวได้ว่าการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการทำเป็นวัสดุแผ่นแข็งน่าจะมีศักยภาพในการสร้างกำไรได้หากมีการพัฒนาไปใช้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรทำวิจัยเพิ่มเติมและวิธีที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติ

1. การพัฒนาสูตรการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการใช้เป็นวัสดุผสม ในการเป็นวัสดุหล่อภาชนะที่ใช้ในงานปลูกต้นไม้ต่างๆ เช่นกระถางต้นไม้

2. การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับอัตราการชะออกของสารอาหารพืชและโลหะหนักจากการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการใช้เป็นวัสดุผสมทำแผ่นก้อนแข็งต่างๆทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

3. การถ่ายทอดเทคโนโลยีของผลการวิจัยที่ได้สู่กลุ่มอุตสาหกรรมชุมชนหรือธุรกิจที่ผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งในการตกแต่งสวน เพื่อให้เกิดการรับรู้และเป็นประเด็นการพัฒนาทางเลือกของการผลิตแผ่นก้อนแข็งที่มีคุณสมบัติการใช้งานที่หลากหลายต่อไป

4. การพัฒนาความรู้และงานวิจัยด้านการผลิตแผ่นก้อนแข็งโดยใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าจากกากของเสียอุตสาหกรรมยางพาราร่วมเป็นวัสดุผสม กับกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชนหรือธุรกิจที่ผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งในการตกแต่งสวนเพื่อให้ได้วัสดุแผ่นก้อนแข็งที่เหมาะสมยิ่งขึ้นในการพัฒนาสู่การสร้างผลิตภัณฑ์ต่อไป

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

1. บทความวิจัยที่นำเสนอในที่ประชุมระดับชาติหรือนานาชาติ 1 เรื่อง ภายใต้หัวเรื่องของ Use of solid wastes from rubber industry as a mixture to produce a decorated material used in garden: a case study of centrifuged residues and ash.

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากกากขี้แป้งและขี้เถ้าซึ่งเป็นของเสียจากโรงงานน้ำยางข้นและโรงงานยางแผ่นรมควัน โดยใช้เป็นวัสดุผสมในการทำแผ่นก้อนแข็ง มีขั้นตอนการวิจัยคือ1) การศึกษาอัตราการผลิต/การเกิดกากขี้แป้งและขี้เถ้าจากโรงงานน้ำยางข้นและโรงรมยาง 2) การศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของกากขี้แป้งและขี้เถ้าโดยเน้นการศึกษาจากองค์ประกอบในส่วนประกอบที่ทำให้เป็นสารยึดประสาน เช่น SiO_2, Al_2O_3 และCaO ฯลฯ 3)การศึกษาเพื่อให้ได้มาของสูตรการผสมของกากขี้แป้ง ขี้เถ้า และ additiveในการทำเป็นวัสดุแผ่นก้อนแข็งที่เหมาะสม1-3 สูตร และ4) การนำสูตรผสมที่ได้มาเตรียมวัสดุก้อนแข็งเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาพบว่า อัตราการผลิตกากขี้แป้งรวมเฉลี่ยทั้งสิ้นเท่ากับ 40 กก./ตันน้ำยางข้น และมีอัตราการเกิดขี้เถ้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 65 กก./ตันยางแผ่นรมควัน ขี้เถ้าประกอบไปด้วยสารยึดประสานในรูป CaO สูงสุดถึง 38.7%โดยเฉลี่ย และรองลงมาคือ K_2O(19.22%) และ SiO_2(6.11%)ตามลำดับ และขี้เถ้าประกอบด้วยสารยึดประสานที่มากกว่ากากขี้แป้ง ชุดทดลองที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์มีความสามารถในการแข็งตัวได้เร็วกว่าชุดที่มีส่วนผสมของขี้เถ้าและกากขี้แป้ง และเมื่อมีการบ่มนานขึ้นจะให้ค่ารับแรงอัดมากขึ้น ชุดการผสมที่มีการเติมกากขี้เถ้ามากขึ้นจะให้ค่าการรับแรงอัดสูงกว่าการเติมกากขี้แป้ง วัสดุก้อนแข็งที่มีส่วนผสมจากกากขี้แป้งและขี้เถ้า เมื่อนำไปทำการชะล้างโดยน้ำ จะทำให้เกิดการชะออกของสารอาหารพืชทั้งในรูป N P และK ได้ รวมทั้งให้การชะออกของโลหะหนักในรูป Zn และ Mg แต่เมื่อทำการทดสอบการชะออกของโลหะหนักดังกล่าวเพื่อประเมินความเป็นอันตรายโดยทดสอบกับวิธีของ wet extraction test พบว่าการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมยางพาราในการผสมเพื่อใช้ทำเป็นวัสดุก้อนแข็งไม่ก่อให้เกิดการความเป็นอันตรายในการชะออกของโลหะหนัก การใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการเป็นวัสดุผสมในการผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งสามารถใช้ประโยชน์ได้ในแง่การใช้ทดแทนวัสดุผสมหลักเช่นทราย แต่ไม่ให้ผลในการใช้ทดแทนซีเมนต์ สามารถใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการเป็นวัสดุผสมในการทำวัสดุก้อนแข็ง โดยมีเป้าหมายในการผลิต1)วัสดุแผ่นก้อนแข็งที่ใช้ตกแต่งเพื่อความสวยงามและรับแรงอัดไม่มากและได้ผลพลอยได้จากเป็นแหล่งชะออกของสารอาหารพืช โดยสูตรผสมที่เหมาะสมประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย ขี้เถ้าและกากขี้แป้งในอัตราส่วน 1:1:1:1 และ 2)วัสดุก้อนแข็งที่สามารถตกแต่งสวนในด้านเป็นวัสดุประดับกระถางต้นไม้และปิดดินใต้ต้นไม้และใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารให้พืชได้ด้วย โดยสูตรผสมที่เหมาะสมประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ขี้เถ้าและกากขี้แป้งในอัตราส่วน 1:1:2 และสูตรที่ประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ และกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน 1:3 โดยต้นทุนในการผลิตวัสดุแผ่นแข็งที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย ขี้เถ้า และกากขี้แป้ง ในอัตราส่วน 1:1:1:1 ซึ่งมีขนาดของแผ่นแข็ง เท่ากับ 30 x 30 x 5 cm^3 มีราคาต้นทุนรวมที่ติดจากค่าใช้จ่ายจากวัสดุหลักเท่ากับ 9.25 บาท/แผ่น

Abstract

This research aimed to utilize of centrifuged residues from concentrated latex industry and ash from smoked sheet rubber factory to produce a solidified material. The study steps included 1) the study of the generation rates of centrifuged residues and ash from the rubber factories, 2) the chemical and physical characteristics of centrifuged residues and ash with focusing the components of binder elements such as SiO_2, Al_2O_3 and CaO, 3) examination to obtain the mixture ratio for the suitable solidified material and 4) use the mixture ratio obtained to produce the solidified material product. The results illustrated that the generation rates of centrifuged residues and ash were 40 kg/tones of concentrated latex product and 65 kg/tones of smoked sheet rubber product. Ash from the smoked sheet rubber factories contains with high amount of the binders in terms of CaO (38.7%) and SiO_2 (6.11%) as well as contains of K_2O (19.22%). It was found that the binder elements contained in ash were determined to be higher than the binder elements in centrifuged residues from concentrated latex factories. The solidification test with cement addition illustrated to be faster than ash and centrifuged residues addition. The compressive strength of the solidified materials was observed to be higher if the maturation time was longer. The test with higher ash addition gave the higher compressive strength. The compressive strength of ash addition was found to be higher than centrifuged residues addition. The leachate obtained from the leaching test with water of the solidified materials illustrated to compose of plant nutrients in terms of N, P and K, as well as heavy metals of Zn and Mg. However, the wet extraction test in order to assess the hazard was shown that it was safe to utilize the centrifuged residues and ash from the rubber industries for solidified material production. The experimental results illustrated that ash and centrifuged residues could be used as the mixtures for produce the solidified materials with low compressive strength. They could be used in place of the natural additives such as sand, but not well used for cement replacement. This study illustrated that the 1:1:1:1 mixture ratio of cements, sand, ash and centrifuged residues was the best mixture to produce the solidified material use for low compressive strength decorated material. This material could be also used as a source of nutrient release. For solidified material used for decoration the tree pot and supporting the nutrients release, the 1:1:2 mixture ratio of cements, ash and centrifuged residues and the 1:3 mixture ratio of cements, and centrifuged residues were determined to be suitable to produce. The material cost of the solidified material production of the 1:1:1:1 mixture ratio of cements, sand, ash and centrifuged residue made with the rectangular size of 30 x 30 x 5 cm^3 was determined to be 9.25 Baht/ piece.

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ในการผลิตน้ำยางข้นจะมีการเติม DAP (diammonium phosphate) เพื่อช่วยให้ Mg ในน้ำยางตกตะกอนก่อนปั่น จากกระบวนการปั่นน้ำยางเพื่อให้ได้น้ำยางข้นจะได้ของเสียในรูปของของแข็งออกมา ของเสียนี้เรียกว่า "**ตมหรือกากขี้แป้ง**" กากขี้แป้งนี้จะประกอบด้วยสิ่งเจือปนต่างๆ ส่วนใหญ่จะเป็นพวกฝุ่น ทราย เปลือกไม้ และแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต เป็นตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนในถังที่รวบรวมน้ำยางสดไว้ และจากกระบวนการปั่นน้ำยางสด

กากขี้แป้งมีลักษณะเป็นสีขาวหรือสีเหลืองอ่อนมีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ จากข้อมูลที่มีการรายงานถึงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของของเสียดังกล่าว พบว่ากากขี้แป้งประกอบไปด้วยธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จำนวนมาก โดยมีธาตุ N, P ในรูป (P_2O_5) K ในรูปของ K_2O และ Mg ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.06 ± 0.33, 19.6 ± 2.8, 1.8 ± 0.4, และ5.31 ± 0.65 % น้ำหนักแห้งตามลำดับ และมีค่าของแข็งระเหยซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเนื้อยาง โดยเฉลี่ยเท่ากับ 55.2 ± 3.8 % น้ำหนักแห้ง และประกอบด้วยสารที่เป็นโลหะหนักเช่น Zn ที่ความเข้มข้นสูงถึง 1.01 ± 0.38% น้ำหนักแห้ง และผลจากการนำกากขี้แป้งไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) พบว่าตัวอย่างกากขี้แป้งมีองค์ประกอบของ MgO, Al_2O_3, SiO_2 CaO, MnO_2, Fe_2O_3 และZnO อยู่ด้วย (วราศรี, 2543 และสมทิพย์, 2551) นอกจากนี้โรงงานยางแผ่นรมควันจะมีของเสีย ในรูปของขี้เถ้าเกิดขึ้นด้วย ซึ่งขี้เถ้าโดยทั่วไปจะมีองค์ประกอบพวก SiO_2, CaO, K_2O, Al_2O_3 ฯลฯ อยู่ในปริมาณมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ทำให้เกิดขี้เถ้า ซึ่งสารเหล่านี้จะมีศักยภาพ ในด้านการใช้เป็นสารยึดประสานได้ ลักษณะทางเคมีของขี้เถ้าและกากขี้แป้งนี้ ทำให้เห็นว่าน่าจะใช้พัฒนา เป็นสารยึดประสานเพื่อทำวัสดุก้อนแข็งทดแทนการใช้ซีเมนต์ได้

ในปัจจุบันเห็นว่า การจัดการกากของเสียในรูปกากขี้แป้ง และขี้เถ้าในอุตสาหกรรมยางพารา ยังเป็นรูปแบบที่อาจสร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อมได้ในระยะยาว เช่นมีการนำกากขี้แป้งไปเผา การกองทิ้งบนดินแล้วปล่อยให้เกิดการชะล้างออกตามธรรมชาติ เป็นต้น ในด้านหนึ่งอาจเกิดการชะเอาสารอาหารออกสู่ธรรมชาติและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน แต่ในขณะ เดียวกันอาจเกิดการปนเปื้อน และสะสมของโลหะหนักให้กับพื้นดินได้ ดังนั้นหากมี แนวทางการจัดการที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นของกากของเสียของอุตสาหกรรมยางพารานี้ก็จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมของการดำเนินการ ของอุตสาหกรรมยางได้อย่างยั่งยืนมากขึ้น ทั้งนี้แนวทาง หนึ่งคือการคิดใช้ประโยชน์จากของเสียเหล่านี้ให้มากขึ้น มากกว่า การคิดกำจัดทิ้งไป อนึ่งในปัจจุบันการทำวัสดุแผ่นก้อนแข็งเพื่อใช้งานตกแต่งสวนต่างๆมีมากขึ้น และมีราคาแพง เช่น แผ่นรองเดิน ก้อนแข็งประดับกระถางต้นไม้เพื่อความสวยงาม ซึ่งวัสดุเหล่านี้ ล้วนทำมาจากวัสดุงานก่อสร้างจากธรรมชาติ และใช้ซีเมนต์เป็นวัสดุยึดประสานเพื่อให้เกิดการแข็งตัว เป็นรูปทรงสวยงามตามแบบที่ต้องการ และมีการดำเนินการจัดทำเป็นอุตสาหกรรมที่มีโอกาสทางการ ตลาดสูง ดังนั้นหากมีการศึกษาวิจัย เพื่อให้เกิดการใช้ของเสียของกากขี้แป้ง และขี้เถ้าของอุตสาหกรรมยางมาเป็นสารยึดประสานในวัสดุก้อนแข็งเพื่อใช้งานตกแต่งดังกล่าวก็จะทำให้เกิดการนำของเสียจาก อุตสาหกรรมยางมาใช้ประโยชน์ได้ และ หากสามารถใช้งานทดแทนซีเมนต์ได้ดี ก็จะสามารถพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อใช้งานสู่การสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ใช้ประโยชน์จากของเสีย และสร้างงานใหม่เชิงพาณิชย์ได้ต่อไป การศึกษา

วิจัยเพื่อการใช้กากขี้แป้งจากโรงงาน น้ำยางข้น และขี้เถ้าจากโรงงานยาง แผ่น รมควันเพื่อเป็นวัสดุผสมสำหรับผลิต วัสดุแผ่นก้อนแข็ง เพื่องานตกแต่ง จึงได้มีการดำเนินการขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบถึงอัตราการผลิตและคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากขี้แป้ง และขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและโรงรมยาง โดยเน้นคุณลักษณะในด้านเป็นสารยึดประสาน
2. การพัฒนาเทคนิคในการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าเป็นสารยึดประสานร่วม กับวัสดุ ธรรมชาติอื่นๆ เพื่อทำเป็นวัสดุก้อนแข็งเพื่อใช้ในงานตกแต่ง
3. การทดสอบวัสดุก้อนแข็งที่สร้างขึ้นโดยใช้ กากขี้แป้งและขี้เถ้าจากโรงงานน้ำยางข้นและโรงรมยางเป็นสารยึดประสาน เพื่อให้ทราบข้อมูลคุณลักษณะต่างๆโดยวัดทั้งในเชิงกายภาพ เคมีและเชิงวิศวกรรม
4. การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้ของเสียในรูปกากขี้แป้ง และขี้เถ้ามาใช้เป็นวัสดุยึดประสานสำหรับทำวัสดุก้อนแข็งเพื่อใช้ในงานตกแต่ง

ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ และอัตราการผลิตกากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้น มีดังนี้ วราศรี (2543) ได้ทำการศึกษาอัตราการเกิดกากขี้แป้ง และลักษณะของกากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้น ผลการศึกษาพบว่า กากขี้แป้งเกิดขึ้นเท่ากับ 9.7-10.3 กก.น้ำหนักเปียก/ตันน้ำยางสดที่ใช้ผลิต จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีพบว่ากากขี้แป้งประกอบด้วย N , P ในรูปของ (P_2O_5), K ในรูปของ (K_2O) , Mg และ Zn เฉลี่ยในช่วง 2.06 - 2.14, 19.6 - 21.6, 1.8 - 2.1, 5.31 - 7.56 และ 0.51 - 1.01 %น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และพบว่ากากขี้แป้งมีสภาพไม่คงตัว สามารถถูกชะล้างหรือละลายได้ โดยเมื่อนำมาสกัดกับน้ำ กากขี้แป้งละลายได้ และให้ K , N ออกมาระหว่าง 69-88 % และ 11-12 % และ P, Mg และ Zn จะละลายออกได้ในช่วง 1% หรือ ต่ำกว่า นอกจากนี้ สมทิพย์ (2551)รายงานว่าอัตราการผลิตกากขี้แป้งเฉลี่ยพบว่ามีค่าเท่ากับ 18.64$\pm$16.44 กก./ตันน้ำยางข้น และกากขี้แป้งแห้งประกอบด้วยธาตุที่สำคัญได้แก่ N, P(as P_2O_5), K(as K_2O) Mg และZn โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.31, 19.41, 1.51, 5.24, และ1.05 % น้ำหนักแห้งตามลำดับ และมีค่าปริมาณของแข็งระเหยได้และเถ้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 57% และ43 % น้ำหนักแห้งตามลำดับ นอกจากนี้กากขี้แป้งยังประกอบไปด้วยธาตุในรูปของ MgO, Al_2O_3, SiO_2 CaO, MnO_2, Fe_2O_3 และZnO

สำหรับโรงงานยางแผ่นรมควัน ในภาคใต้พบว่ามีจำนวนมากกระจายตัวอยู่ในทุกจังหวัด ในขั้นตอนการรมควันยางนั้น โรงอบ/รมยางแผ่น จะใช้ไม้ฟืนเป็นวัตถุดิบหลักในการให้ความร้อน ซึ่งใช้ไม้ยางขนาดเล็ก หรือปีกไม้ซึ่งเป็นของทิ้งจากโรงงานเฟอร์นิเจอร์มาใช้งาน การใช้ไม้ฟืนเพื่อให้ความร้อนในการอบ/รมยาง จะทำให้ได้ขี้เถ้าเกิดขึ้น จัดเป็นของเสียหลักของโรงอบ/รมยางแผ่น ขี้เถ้าส่วนใหญ่จะอุดมสมบูรณ์ไปด้วย K และขี้เถ้าโดยทั่วไปจะมีองค์ประกอบพวก SiO_2, CaO, K_2O, Al_2O_3 ฯลฯ อยู่ในปริมาณมากน้อย

แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ทำการเผาแล้วให้ได้ขี้เถ้า ซึ่งสารเหล่านี้จะมีศักยภาพในด้านการใช้เป็นสารยึดประสานได้

จากข้อมูลที่มีการศึกษาแล้วข้างต้น แสดงให้เห็นว่าของเสียทั้งสองจัดเป็นวัสดุที่มีศักยภาพที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายไม่ว่าจะใช้เป็นสารปรับสภาพดิน หรือใช้เป็นวัสดุยึดประสานในการสร้างชิ้นงานแผ่นแข็งด้วยมีสารยึดประสานอยู่ อนึ่งในปัจจุบัน พบได้ว่า การนำของเสียในรูปกากขี้แป้งและขี้เถ้าในอุตสาหกรรมยางพารายังเป็นรูปแบบ informal และยังมีการสร้างมูลค่าจากการใช้ของเสียที่ยังต่ำ หากสามารถพัฒนาหาวิธีการใช้ประโยชน์ของของเสียดังกล่าวให้มีมูลค่ามากขึ้น ก็จะเป็นประโยชน์

อนึ่งในปัจจุบันการทำวัสดุแผ่นก้อนแข็งเพื่อใช้งานตกแต่งต่างๆมีมากขึ้นและมีราคาแพง เช่น แผ่นรองเดินในงานตกแต่งสวน แผ่นก้อนแข็งสำหรับประดับกระถางต้นไม้ต่างๆ ซึ่งวัสดุเหล่านี้ล้วนทำมาจากวัสดุงานก่อสร้างจากธรรมชาติและใช้ซีเมนต์เป็นวัสดุยึดประสานเพื่อให้เกิดการแข็งตัวเป็นรูปทรงสวยงามตามแบบที่ต้องการ และมีการดำเนินการจัดทำเป็นอุตสาหกรรมที่มีโอกาสทางการตลาดสูง ดังนั้นหากมีการศึกษาวิจัยเพื่อให้เกิดการใช้ของเสียของกากขี้แป้งและขี้เถ้าของอุตสาหกรรมยางมาเป็นสารยึดประสานในวัสดุก้อนแข็งเพื่อใช้งานตกแต่งโดยเฉพาะใช้ในงานตกแต่งสวน ก็จะทำให้เกิดการนำของเสียจากอุตสาหกรรมยางมาใช้ประโยชน์ได้

หลักการใช้ประโยชน์ของของเสียดังกล่าวข้างต้น ต้องอาศัยหลักการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง (stabilization and solidification) ซึ่งสามารถทำให้เกิดการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของของเสีย ลดพื้นที่ผิวสัมผัสที่อาจทำให้เกิดการถ่ายเทสารปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม จำกัดความสามารถการละลายได้ของสารมลพิษที่อยู่ในกากของเสียสู่สิ่งแวดล้อม รวมถึงลดความเป็นพิษของสารปนเปื้อนได้ด้วย และยังอาจทำให้เกิดการเพิ่มความแข็งแรง ความสามารถในการรับแรงกดทับได้ด้วย วิธีการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็งสามารถแบ่งได้ตามชนิดของสารเคมีที่ได้ใช้ในการผสม ตัวอย่างของสารเคมีที่ใช้ในการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง (additives) ได้แก่ ซีเมนต์ ปูนขาว ซิลิเกตละลายน้ำ ดินเหนียวดัดแปลง ปูนขาวดัดแปลง เป็นต้น กากของเสียจากอุตสาหกรรมเช่นขี้เถ้าบิน (fly ash) และขี้เถ้าจากการเผาไหม้ สามารถนำมาปรับเสถียรได้ง่าย ปลอดภัยและไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย(ฉัตรดนัย, 2548)

การศึกษาวิจัยเพื่อการ ใช้กากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้น และขี้เถ้าจากโรงงานยางแผ่นรมควันเพื่อเป็นวัสดุผสมสำหรับ ผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งเพื่องานตกแต่ง จึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งของระบบการใช้ของเสียดังกล่าวจากโรงงานยางทั้งสองประเภทที่สามารถพัฒนาให้เป็นรูปธรรมที่ชัดเจนขึ้น อันจะทำให้เกิดการใช้ ทรัพยากรในภาคการผลิตของอุตสาหกรรมยางที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และเป็นแนวทางของการ พัฒนาอย่างยั่งยืนภายใต้แนวคิดหลักของการนำกลับของเสียมาใช้ประโยชน์ (waste recovery and recycling) และอาจจะสามารถพัฒนาไปสู่การดำเนินการของ **“waste to new product”** ของอุตสาหกรรมยาง นอกจากนี้ทางเลือกนี้น่าจะเป็นแนวทางหนึ่งภายใต้แนวคิดของกระบวนการ green technology ที่สามารถเพิ่มมูลค่าของของเสียของโรงงานอุตสาหกรรมยางได้

วิธีการ

1.วัสดุและสารเคมี

มีดังนี้คือ

-ปูนซีเมนต์ตราเสือและตราช้าง
-หิน
-ทราย
-กากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้น
-ขี้เถ้าจากโรงงานยางแผ่นรมควัน
-ซีเมนต์กาว
-กากตะกอนแป้งจากโรงงานถุงยางอนามัย
-ฝุ่นจากโรงงานMDF
-กากตะกอนSTR20
-สารเคมีในการวิเคราะห์ Zn, N, P, K

2. อุปกรณ์และเครื่องมือ

มีดังนี้คือ

- pH meter
-เครื่องชั่งสารเคมี
-ชุดกลั่นแอมโมเนีย
-ชุดกรองตัวอย่าง
-hot plate
-spectrophotometer
-oven
-เตาเผา
-ชุดย่อยไนโตรเจน
-เครื่องอังไอน้ำ
-เครื่องกวนแม่เหล็ก
-ถ้วยกระเบื้อง
-ขวดสีชา
-แท่งแก้ว
-บิวเรต
-ถาดอลูมิเนียม
-ปิเปต
-บีกเกอร์ขนาด50,100 และ 1,000 ml
-กระบอกตวงขนาด50,100 และ 250 ml
-ขวดรูปชมพู่ขนาด 125, 250และ 500 ml
-หลอดหยดตัวอย่าง
-เครื่องเขย่า
-ปากคีบ
-จุกยาง

3.วิธีการดำเนินการ

การดำเนินการวิจัยนี้อยู่ภายใต้หลักการของการสร้างองค์ความรู้และพัฒนาเทคโนโลยีในด้านการใช้ของเสีย จากอุตสาหกรรมยางพารามาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ภายใต้การใช้ศักยภาพการใช้งานในด้านเป็นสารยึดประสาน เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างงานสู่การดำเนินงานเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้มีวิธีการวิจัยดังนี้

3.1 ศึกษาอัตราการผลิต/การเกิดกากขี้แป้งและขี้เถ้าจากโรงงานน้ำยางข้นและโรงรมยาง

โดยศึกษาข้อมูลในกลุ่มโรงงานน้ำยางข้นจำนวน 10 โรงงาน และโรงงานยางแผ่นรมควันจำนวน 3 โรงงานในจังหวัดสงขลาและสุราษฎร์ธานีเพื่อประเมินถึงอัตราการผลิตของเสียดังกล่าวต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ยางที่ผลิตได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินโอกาสการใช้ประโยชน์ของเสียทาง

พาณิชย์ต่อไป และในขณะที่ทำการศึกษาจะได้ทำการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัญหา อุปสรรคในการจัดการของเสียดังกล่าวด้วย

3.2 การศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของกากขี้แป้งและขี้เถ้า

ในขณะที่ทำการศึกษาในข้อ 3.1 จะทำการเก็บตัวอย่างกากขี้แป้งและขี้เถ้าจากโรงงานน้ำยางข้นและโรงรมยางมาเพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะทางเคมี และกายภาพ โดยเฉพาะองค์ประกอบและปริมาณในส่วนประกอบที่ทำให้เป็นสารยึดประสาน เช่น SiO_2, Al_2O_3 และCaO ฯลฯ สำหรับกากขี้แป้งด้วยพบว่ามีแหล่งกำเนิดในโรงงานน้ำยางข้น 3 แหล่ง จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างกากขี้แป้งโรงงานละ 2-3 จุดคือ กากขี้แป้งจากบ่อพักน้ำยาง กากขี้แป้งจากที่ปั่นน้ำยางและกากขี้แป้งจากบ่อจับยางสกิม ตัวอย่างกากขี้แป้งและขี้เถ้าที่ได้นำมาวิเคราะห์หาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี โดยตัวอย่างกากขี้แป้งได้วิเคราะห์หาค่า pH, ค่าความชื้น, ค่า Solid Content , Volatile Solids และค่าความหนาแน่น ตัวอย่างบางส่วนได้นำไปอบแห้งในเตาอบอุณหภูมิ 100 ^{o}C แล้วบดย่อยให้เป็นผง แล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1mm. ตัวอย่างที่ได้นำไปวิเคราะห์ หาค่า N, P, K, Mg และ Zn ส่วนขี้เถ้าได้นำมาวิเคราะห์หาค่า pH, P และ K วิธีการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ จะใช้ตามวิธีของ Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990) และ Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater (APHA, AWWA and WFF, 2005) รวมถึงนำตัวอย่างแห้งทั้งสองไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) เพื่อศึกษาถึงสารประกอบภายในกากขี้แป้งและขี้เถ้า โดยเฉพาะองค์ประกอบ และปริมาณในส่วนประกอบ ที่ทำให้เป็นสารยึดประสาน เช่น SiO_2, Al_2O_3 และCaO โดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ ที่ศูนย์ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

3.3ศึกษาเพื่อให้ได้มาของสูตรการผสมของกากขี้แป้ง ขี้เถ้า และ additiveในการทำเป็นวัสดุแผ่นก้อน แข็งที่เหมาะสม1-3 สูตร

การศึกษานี้ครอบคลุมถึงเทคนิค/วิธีการผสม อัตราการผสมของการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการเป็นสารยึดประสานในการทำวัสดุก้อนแข็งและการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุก้อนแข็งที่ได้ การศึกษาในการสร้างวัสดุก้อนแข็งเพื่อให้ได้สูตรที่เหมาะสม 1-3 สูตรนั้นได้พิจารณาใช้วัสดุธรรมชาติในท้องถิ่น โดยเฉพาะทรายและหิน รวมถึงวัสดุเศษเหลืออื่นๆเช่นฝุ่นจาก โรงงานผลิตMDF ขี้เลื่อยจากโรงงานไม้ยางพารา ตะกอนจากโรงงานยางแท่งSTR20 และกากตะกอนแป้งจากโรงงานผลิตถุงยางอนามัยมาเป็นส่วนผสม เพื่อคาดหวังให้แผ่นก้อนแข็งมีน้ำหนักเบาขึ้น และอาจส่งผลให้เกิดการลดการใช้สาร additive หลักคือซีเมนต์ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดsolidificationที่เหมาะสมและหาระยะเวลาในการบ่มวัสดุก้อนแข็งที่ดีที่สุดภายใต้ ภาวะการทดลอง การศึกษาดำเนินการ เป็น 2 ช่วง คือ

3.3.1การศึกษาขั้นทดลองเบื้องต้นแบบ pre screening

ในเบื้องต้นได้ทำการทดสอบโดยนำขี้เถ้า และกากขี้แป้งจาก 3 จุด คือ กากขี้แป้งจากบ่อพักน้ำยางสดจากถังปั่น และบ่อจับหางน้ำยาง และผสมรวมกับกากของเสียอื่นได้แก่ ฝุ่นจาก โรงงานผลิตMDF ขี้เลื่อยจากโรงงานไม้ยางพารา ตะกอนจากโรงงานยางแท่งSTR20 และกากตะกอนแป้งจากโรงงานผลิตถุงยางอนามัย โดยมีการผสมตามสัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 1 การทดลองในขั้นนี้ ทำการผสมส่วนผสมต่างๆแล้วเทลงใน

ถ้วยพลาสติกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 9 ซม. สูง 5 ซม. โดย ปล่อยให้แข็งตัวในที่ร่ม ทำการศึกษาถึงสภาพในการแข็งตัวของวัสดุในช่วงเวลาต่างๆ เป็นเวลา 7 วัน พร้อมสังเกตลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้น เช่น สี กลิ่น การหดตัวหรือแตกร้าว ตลอดจนการขึ้นรา นอกจากนี้ ยังได้ทดสอบการแข็งตัวโดยใช้กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆ กับขี้เถ้าเพื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ใช้ซีเมนต์ โดยทำการทดสอบสูตรการผสมภายใต้สภาวะทดลองทั้งหมด 8 ชุดทดลอง(ตารางที่1) แต่ละชุดทดลองทำ 2 ก้อน โดยมีขนาดก้อนดังกล่าวข้างต้น และ แต่ละก้อนได้มีการทำให้แห้ง 2 สภาวะ คือ การทำให้แห้งโดยการตากแดด และการทำให้แห้งโดยการผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ในการผสมใช้วัสดุในการผสม คือ ปูนซีเมนต์ ขี้เถ้า และกากขี้แป้งจาก 3 จุด คือ กากขี้แป้งจากถังปั่นหางน้ำยาง และบ่อพักน้ำยางสด ทำการสังเกตเช่นเดียวกับข้างต้น

3.3.2 การทดลองผสมเพื่อหาสูตรในการทำก้อนแข็ง

ทำการผสมวัสดุต่างๆดังส่วนผสมที่แสดงในตารางที่ 2 แต่ละชุดทดลองทำการหล่อก้อนจำนวน 12 ก้อน แต่ละก้อนมีขนาดกว้าง X ยาว X สูงเท่ากับ 5 x 5 x 5 cm^3. การเตรียมวัสดุหล่อก้อน เมื่อได้สัดส่วนที่ตวงปริมาตรตามที่ต้องการแล้วจะเทลงในถังพลาสติกขนาด 15 ลิตร กวนผสมให้เข้ากัน จากนั้นเทลงในพิมพ์ที่เตรียมไว้ การทดลองนี้แยกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นชุดควบคุม โดยใช้ซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานหลัก โดยการทดลองใช้ซีเมนต์ 2 ชนิดคือปูนซีเมนต์ตราเสือ และปูนซีเมนต์ตราช้าง การผสมใช้สัดส่วนการผสมปูนซีเมนต์ที่ใช้สำหรับวัสดุหล่อคอนกรีตแบบทำพื้นสำหรับในงานก่อสร้างทั่วไป และที่ไม่รับแรงมาก คือซีเมนต์ :ทรายเท่ากับ 1:3 และ ซีเมนต์ :ทราย:หิน เท่ากับ 1:2:4 กลุ่มที่สองเป็นชุดควบคุมโดยใช้การหล่อก้อนจากกากขี้แป้งอย่างเดียว กลุ่มที่สามเป็นการผสมซีเมนต์ร่วมกับกากขี้แป้งและขี้เถ้า และกลุ่มที่สี่เป็นกลุ่มการผสมซีเมนต์ร่วมกับกากขี้แป้ง ขี้เถ้าและวัสดุผสมอื่นๆ รวมทั้งหมด 24 ชุดทดลอง เมื่อก้อนที่ทำเป็นก้อนแข็งแข็งตัวเป็นเวลา 12 วัน และ 30 วัน จะทำการทดสอบการรับแรงอัด และหาค่าความชื้น ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ ข้อมูลที่ได้จะนำมาพิจารณาเพื่อคัดเลือกชุดการทดลองที่จะนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ต่อ โดยหาค่าความพรุน การทดสอบเพื่อสกัดและการชะออก (extraction and leaching test) โดยใช้วิธีทดสอบแบบทั้งก้อน โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวสกัด และการทดสอบการสกัดแบบบดย่อยวัสดุก้อนแข็ง โดยสกัดด้วยกรดซิตริก การทดสอบการสกัดและการชะออกแบบทั้งก้อน ดำเนินการโดยแช่ก้อนแข็ง แต่ละก้อนในน้ำกลั่น 200 มล. ทิ้งไว้ที่ 24 และ 72 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำตัวอย่างน้ำที่ชะได้มาวิเคราะห์หาค่า pH, N, P, K, Mg, TDS, TDVS และโลหะหนัก Zn (เฉพาะ N เท่านั้นที่หาที่ 24 ชั่วโมง) และสำหรับการศึกษาการสกัดในกรณีของวัสดุก้อนแข็งถูกบดย่อยนั้น ดำเนินการสกัดด้วยวิธี wet extraction test เพื่อประเมินความเป็นอันตรายของวัสดุก้อนแข็ง โดยนำวัสดุก้อนแข็งที่บดย่อยให้มีขนาดเล็กกว่า 1 cm มาสกัดด้วย 0.02 M citric acid เป็นเวลา 48 ชั่วโมง น้ำสกัดที่ได้นำไป วิเคราะห์หาค่า Zn ซึ่งในการสกัดแต่ละครั้งทำการชั่งน้ำหนักเปียกและแห้งของวัสดุก้อนแข็งทุกครั้ง การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารต่างๆในน้ำที่สกัดได้ ใช้วิธีการการวิเคราะห์ตามวิธีของ APHA, AWWA and WEF (2005) นอกจากนี้ได้มีการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุก้อนแข็งที่หล่อได้ โดยบดย่อยวัสดุก้อนแข็งแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometry เพื่อทำให้สามารถเข้าใจถึงลักษณะกลไกของการยึดโยงภายในของวัสดุก้อนแข็งในระดับจุลภาค

3.3.3 การทำเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุก้อนแข็ง

ผลการศึกษาที่ได้ในข้อ 3.3.2 ทำการคัดเลือกสูตรการเตรียมวัสดุก้อนแข็งที่ได้มาเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ โดยทดลองทำการผลิตภัณฑ์วัสดุก้อนแข็งจำนวน 2 ผลิตภัณฑ์(2 รูปแบบ) โดยเปรียบเทียบกับการผลิตวัสดุก้อนแข็งเพื่อใช้ผลิตเป็นวัสดุตกแต่งงานสวน ที่ใช้เทคนิคการผลิตแบบการผสมแบบงานปูนที่ใช้ซีเมนต์เป็นสารยึดประสานหลัก ข้อมูลที่ได้จัดทำเป็นข้อสรุปเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีต่อไป และข้อมูลที่ได้ทั้งหมด ได้นำมาวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้เห็นถึงโอกาสของการใช้เทคโนโลยีการทำวัสดุก้อนแข็งจากกากขี้แป้งและขี้เถ้าสู่การใช้งานต่อไป

ตารางที่ 1. การผสมโดยใช้กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆ และกากของเสียจากอุตสาหกรรม ต่างๆ

ชุดที่ทดลอง	**อัตราส่วนวัสดุที่ใช้**				
A:กากขี้แป้งจากแต่ละแหล่ง	กากขี้แป้งจากบ่อพักน้ำยาง	กากขี้แป้งจากถังปั่น	กากขี้แป้งจากบ่อจับตัวหางน้ำยาง		
A-1	1	0	0		
A-2	0	1	0		
A-3	0	0	1		
A-4	1	1	1		
B: กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆ กับกากตะกอน STR20	กากขี้แป้งจากบ่อพักน้ำยาง	กากขี้แป้งจากถังปั่น	กากขี้แป้งจากบ่อจับตัวหางน้ำยาง	กากตะกอน STR20	
B-1	0.5	2	0	1	
B-2	0.5	2	0	0.5	
B-3	0	2	0	0.5	
B-4	1	0	0.5	2	
B-5	0.5	0	0.5	1	
C: กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆ กับกากฝุ่นMDF และขี้เลื่อย	กากขี้แป้งจากบ่อพักน้ำยาง	กากขี้แป้งจากถังปั่น	ฝุ่นMDF	ขี้เลื่อย	
C-1	0.5	2	1	0	
C-2	0.5	2	0	1	

ตารางที่ 1. การผสมโดยใช้กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆ และกากของเสียจากอุตสาหกรรม ต่างๆ(ต่อ)

ชุดที่ทดลอง	**อัตราส่วนวัสดุที่ใช้**				
D:กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆกับกากแป้งจากโรงงานถุงยางอนามัย	กากขี้แป้งจากบ่อพักน้ำยาง	กากขี้แป้งจากถังปั่น	กากตะกอนแป้ง		
D-1	0.5	2	0.5		
D-2	0.5	2	1		
E:กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆกับขี้เถ้าและปูนซีเมนต์	กากขี้แป้งจากบ่อพักน้ำยาง	กากขี้แป้งจากถังปั่น	กากขี้แป้งจากบ่อจับตัวหางน้ำยาง	ขี้เถ้า	ปูนซีเมนต์
E-1	0.5	2	0	1	0
E-2	0.5	2	0	0.5	0
E-3	0	2	0	0.5	0
E-4	0	0	2	0.5	0
E-5	1	0	0.5	2	0
E-6	0.5	0	0.5	1	0
E-7	0	2	0	0	1
E-8	0	0	2	0	1

ตารางที่ 2. การทดลองเพื่อหาสูตรการผสมการทำแผ่นก้อนแข็งจากกากขี้แป้งและขี้เถ้า

ชุดที่ทดลอง	**อัตราส่วนวัสดุที่ใช้**				
ก:ซีเมนต์(ชุดควบคุม)	ซีเมนต์ตราช้าง	ซีเมนต์ตราเสือ	ทราย	หิน	
ก-1	1	0	3	0	
ก-2	0	1	3	0	
ก-3	0	1	2	4	

ตารางที่ 2. การทดลองเพื่อหาสูตรการผสมการทำแผ่นก้อนแข็งจากกากขี้แป้งและขี้เถ้า (ต่อ)

ชุดที่ทดลอง	**อัตราส่วนวัสดุที่ใช้**				
ข: กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆ (ชุดควบคุม)	กากขี้แป้งจาก ถังปั่น	กากขี้แป้งจาก บ่อจับหางน้ำยาง	กากขี้แป้งจากบ่อพักน้ำยาง		
ข-1	1	0	0		
ข-2	0	1	0		
ข-3	0	0	1		
ค: กากขี้แป้งจากถังปั่นและขี้เถ้าและปูนซีเมนต์	ซีเมนต์ตราเสือ	ทราย	หิน	ขี้เถ้า	กากขี้แป้ง
ค-1	1	1	0	1	1
ค-2	1	1	0	0.5	1.5
ค-3	1	0	0	1	2
ค-4	1	0	0	0	3
ค-5	1	0	4	1	1
ค-6	0.5	1	0	1	1.5
ค-7	0.5	1	0	0.5	2
ค-8	0.5	0	4	1	1.5
ค-9	ซีเมนต์ตราช้าง 1	1	0	1	1
ค-10	0.5	1	0	0.5	2
ค-11	0.5	0	0	1.5	1.5
ค-12	0.5	1	0	1	1.5
ง: กากขี้แป้งจากถังปั่น,ขี้เถ้า, ปูนซีเมนต์และวัสดุเศษเหลืออื่น	ซีเมนต์ตราเสือ	ทราย	ขี้เถ้า	กากขี้แป้ง	ตะกอนแป้งจากโรงงานถุงยางอนามัย
ง-1	1	0.5	1	1	0.5
ง-2	0.5	0.5	0.5	1	0.5

ตารางที่ 2. การทดลองเพื่อหาสูตรการผสมการทำแผ่นก้อนแข็งจากกากขี้แป้งและขี้เถ้า (ต่อ)

ชุดที่ทดลอง	**อัตราส่วนวัสดุที่ใช้**				
ง: กากขี้แป้งจากถังปั่น,ขี้เถ้า, ปูนซีเมนต์และวัสดุเศษเหลืออื่น	ซีเมนต์ตราเสือ	ทราย	ขี้เถ้า	กากขี้แป้ง	ฝุ่นMDF
ง-3	1	0.5	1	1	0.5
ง-4	0.5	0.5	0.5	1	0.5
					กากSTR20
ง-5	1	0.5	1	1	0.5
ง-6	0.5	0.5	0.5	1	0.5

หมายเหตุ: ส่วนผสมมีการเติมน้ำในอัตราส่วน 185 ลิตร/ลบ.ม.ของปริมาตรวัสดุผสมที่ขึ้นรูป

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1.อัตราการผลิต/การเกิดกากขี้แป้งและขี้เถ้าจากโรงงานน้ำยางข้นและโรงรมยาง

1.1 ปริมาณการเกิดกากขี้แป้ง และการจัดการ

จากการเก็บข้อมูลในภาคสนาม ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างกากขี้แป้งจำนวน 10 โรงงาน ซึ่งมีกากขี้แป้งเกิดจาก 3 จุดคือจากถังพักน้ำยางสด ถังปั่นน้ำยาง และ line ผลิตของหางน้ำยาง โดยได้ทำการประเมินเกี่ยวกับอัตราการเกิดกากขี้แป้งจากผู้ประกอบการ พบว่าแต่ละโรงงานมีอัตราการเกิดกากขี้แป้งจากถังปั่นน้ำยางเกิดมากที่สุด โดยเกิดขึ้นในช่วง 0.5-3.5 ตัน/วัน หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 1.70 ตัน/วัน สำหรับในจุดถังพักน้ำยาง พบว่าเกิดขึ้นในช่วง 0.3-2.5 ตัน/วัน หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 1.18 ตัน/วัน และในจุด line ผลิตของหางน้ำยางพบว่าเกิดขึ้นในช่วง 0.2-1.5 ตัน/วัน หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.86 ตัน/วัน ซึ่งอาจกล่าวโดยรวมได้ว่าการผลิตน้ำยางข้นจะทำให้เกิดอัตราการเกิดของเสียในรูปกากขี้แป้งทั้ง 3 จุดโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 3.35 ตัน/วัน (ตารางที่ 3) หรือคิดเป็นอัตราการผลิตกากขี้แป้งรวมเฉลี่ยทั้งสิ้นเท่ากับ 40 กก./ตันน้ำยางข้น ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่เคยมีรายงานมาเล็กน้อยดังเช่น สมทิพย์ (2551)รายงานว่าอัตราการผลิตกากขี้แป้งเฉลี่ยพบว่ามีค่าเท่ากับ 18.64$\pm$16.44 กก./ตันน้ำยางข้น โรงงานที่ศึกษาทั้งหมดจะมีการจัดการกับกากขี้แป้ง โดยรวบรวมในภาชนะต่างๆ เช่นใส่ในถุงปุ๋ย และบางแห่งมีการนำมาเทกองรวมพักไว้ โดยกักเก็บในพื้นที่โรงงาน เป็นระยะเวลา 1-7 วัน เพื่อให้มีปริมาณที่มากพอกับปริมาณที่จะระบายออกโดยรถบรรทุก เพื่อนำกากขี้ แป้งเหล่านั้นไปเผา หรือถมที่ดินต่อไป ซึ่งการเผาและถมที่นั้นมีการดำเนินการทั้งภายนอกและภายในพื้นที่โรงงาน และนอกจากนั้นยังนำกากขี้แป้งไปใช้ทำเป็นปุ๋ยโดยการนำไปใส่ต้นปาล์ม สำหรับปัญหาอุปสรรคในการจัดการกากขี้แป้ง ทางโรงงานได้สะท้อนให้เห็นว่ามีประเด็นดังต่อไปนี้ 1)กลิ่นแอมโมเนียที่อยู่ในกากขี้แป้ง ซึ่งมีกลิ่นที่ฉุนรุนแรง

เมื่อสูดดมแล้วทำให้แสบจมูกแก่ผู้ที่มีหน้าที่ในการนำกากขี้แป้งไปกำจัด 2)ไม่มีพื้นที่สำหรับการกักเก็บ กากขี้แป้งเพื่อรอสำหรับการจัดการกากขี้แป้ง 3)การเกิดกากขี้แป้งที่มากในแต่ละวัน ส่งผลให้ยากต่อการจัดการกากขี้แป้ง 4)น้ำหนักกากขี้แป้งซึ่งมีมาก จำเป็นต้องใช้รถสำหรับ บรรทุกเพื่อนำกากขี้แป้งไปกำจัด มีค่าใช้จ่ายสูงทั้งค่ารถและแรงงาน

1.2 ปริมาณการเกิดขี้เถ้า และการจัดการ

จากการประเมินเกี่ยวกับอัตราการเกิดขี้เถ้าจาก 3 โรงงานยางแผ่นรมควันที่เป็นสหกรณ์โรงรมยางจากผู้ประกอบการ พบว่าแต่ละโรงงานยางแผ่นรมควันมีอัตราการเกิดขี้เถ้าในช่วง 0.026-0.162 ม^3/วัน หรือ 32-195 กก./วัน หรือคิดเป็นอัตราการผลิตขี้เถ้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 65 กก./ตันยางแผ่นรมควัน และสำหรับการจัดการขี้เถ้าของโรงงานที่เป็นอยู่ พบว่า ทางโรงงานได้เทกองไว้รอบๆโรงงาน

ตารางที่3. ปริมาณการเกิดกากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้น

จุดที่เกิดกากขี้แป้ง	เฉลี่ย (ตัน/วัน)	ช่วง (ตัน/วัน)
ถังปั่นน้ำยางสด	1.70	0.5-3.5
ถังพักน้ำยาง	1.18	0.3-2.5
line ผลิตของหางน้ำยาง	0.86	0.2-1.5

2.ลักษณะทางเคมีและกายภาพของกากขี้แป้งและขี้เถ้า

2.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากขี้แป้ง

จากการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากขี้แป้งจาก3แหล่งกำเนิด คือจากถังพักน้ำยางสด จากที่ปั่นยาง และจากบ่อจับตัวหางน้ำยาง พบว่ากากขี้แป้งแต่ละแหล่งกำเนิดมีลักษณะดังนี้ กากขี้แป้งจากถังพักน้ำยางจะมีลักษณะกึ่งของแข็งกึ่งของเหลวมากกว่าที่ปั่นน้ำยาง และ line ผลิตของหางน้ำยาง นอกจากนี้ยังพบว่ากากขี้แป้งทั้ง 3 แหล่งกำเนิดจะมีลักษณะเป็นสีขาวเทาหรือขาวอมเหลืองและมีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย โดยคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีที่วิเคราะห์ได้แสดงดังตารางที่ 4-5 ซึ่งพบว่ากากขี้แป้งสดทั้ง 3 จุดที่ศึกษา จะมีลักษณะทางกายภาพและเคมีที่ไม่แตกต่างกันมากนัก มีค่าเฉลี่ยของ pH, N, P, K, Mg, Zn, Ca, และNa ในช่วง 8.71-9.05, 5.01-5.39%, 2.86-5.54%, 0.41-0.56%, 1.99-2.06%, 0.07-0.11%, 0.04-0.08% และ 0.005-0.01%น้ำหนักแห้งตามลำดับ นอกจากนี้กากขี้แป้งยังมีNH_3-N และ Org-N โดยเฉลี่ยในช่วง 2.40-2.53 % และ 2.49-2.96%น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อใช้ X-Ray Fluorescence ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากขี้แป้ง พบว่าค่าของสารประกอบ P_2O_5 ของกากขี้แป้งมีปริมาณมากที่สุดโดยในถังพักน้ำยาง ถังปั่นน้ำยาง และ line ผลิตหางน้ำยาง จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.69%, 39.20% และ 32.42% น้ำหนักแห้งตามลำดับ และพบค่าของสารประกอบ Rb ของกากขี้แป้งมีปริมาณน้อยที่สุดโดยในถังพักน้ำยาง ถังปั่นน้ำยาง และ line ผลิตหางน้ำยาง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.10% ,

ตารางที่ 4. ผลการศึกษาคุณลักษณะของกากขี้แป้ง

ตัวแปร	ถังพักน้ำยางสด		ถังปั่น		line ผลิตของหางน้ำยาง	
	เฉลี่ย ±SD	พิสัย	เฉลี่ย±SD	พิสัย	เฉลี่ย±SD	พิสัย
คุณลักษณะทางกายภาพ						
ความหนาแน่นตัวอย่างเปียก(kg/m^3)	989±408	644-1,333	1,013±398	733-1,176	1,004±311	736-1,117
ความชื้น (%)	72±7.83	44-77	56±31.09	34-66	62±30.87	41-79
TS (%)	28±18.73	23-56	44±30.36	34-66	38±30.87	31-59
คุณลักษณะทางเคมี						
pH	8.78±2.07	7.30-9.49	9.05±2.51	6.94-9.71	8.71±2.40	6.91-9.56
VS (%TS)	58±2.96	51-61	57±3.58	52-63	58±3.30	53-61
Ash (%TS)	42±2.92	39-49	43±3.58	37-48	42±3.34	39-47
NH_3-N (% dry weight)	2.44±2.02	1.11-7.45	2.40±1.11	0.97-3.57	2.53±0.95	1.17-3.73
Org-N (% dry weight)	2.96±1.41	0.95-5.13	2.76±1.40	0.80-4.26	2.49±1.02	1.03-3.96
TP (% dry weight)	3.59±2.72	2.99-4.89	5.54±1.78	4.09-6.12	2.86±0.49	2.57-3.12
TN (% dry weight)	5.39±2.01	3.05-9.14	5.16±1.24	2.96-6.83	5.01±0.87	3.51-6.30
Mg (% dry weight)	1.99±1.25	1.64-3.05	2.06±1.18	1.54-2.58	2.04±1.15	1.45-2.79
K (% dry weight)	0.42±0.22	0.30-0.59	0.41±0.46	0.21-0.67	0.56±0.45	0.37-0.83
Zn (% dry weight)	0.07±0.09	0.04-0.15	0.10±0.13	0.06-0.12	0.11±0.24	0.04-0.28
Ca (% dry weight)	0.08±0.20	0.03-0.25	0.04±0.07	0.02-0.09	0.04±0.06	0.02-.09
Na (% dry weight)	0.01±0.00	0.005-0.01	0.01±0.00	0.005-0.01	0.01±0.00	0.005-0.01

ตารางที่ 5. ลักษณะทางเคมีของกากขี้แป้งโดยใช้ X-Ray Fluorescence

ตัวแปร	ถังพัก		ถังปั่น		บ่อจับหางน้ำยาง	
	เฉลี่ย±SD	พิสัย	เฉลี่ย±SD	พิสัย	เฉลี่ย±SD	พิสัย
MgO (%)	10.63±1.424	9.59-11.6	15.9±2.26	14.37-17.52	11.15±2.037	9.84-12.69
Al_2O_3 (%)	1.85±1.70	0.76-3.14	0.24±0.19	0.12-0.38	0.41±0.36	0.14-0.64
SiO_2 (%)	4.74±5.08	2.02-8.81	0.79±0.55	0.34-1.08	1.02±0.48	0.68-1.35
P_2O_5 (%)	31.69±2.40	29.73-32.68	39.20±3.84	36.53-41.96	32.42±3.35	29.75-34.28
SO_3 (%)	0.36±0.08	0.30-0.63	0.47±0.22	0.31-0.63	0.77±0.90	2.47-3.00
K_2O (%)	2.11±0.60	1.65-2.48	1.97±1.05	1.26-2.74	2.72±0.38	2.47-3.00
ZnO (%)	1.34±0.29	1.13-1.53	2.49±1.13	1.63-3.21	2.70±2.38	1.16-4.50
Rb (%)	0.10±0.03	0.07-0.10	0.06±0.00	0.06	0.08±0.02	0.06-0.09
CaO (%)	0.86±0.30	0.67-1.09	0.624±0.51	0.37-1.08	0.73±0.45	0.46-1.08

0.06% และ 0.8% น้ำหนักแห้งตามลำดับ และนอกจากนี้ยังพบว่ากากขี้แป้งมีธาตุที่อยู่ในรูปของสารประกอบของ MgO, Al_2O_3, SiO_2 , P_2O_5, SO_3, K_2O, ZnO, Rb, และ CaO จากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่ากากขี้แป้งมีสารโลหะที่หลากหลาย และมีองค์ประกอบที่สามารถนำไปใช้ในด้านการเป็นสารยึดประสานได้ได้แก่ MgO, Al_2O_3 และ CaO เป็นต้น แต่จะมีในปริมาณไม่สูง ผลการศึกษาทางองค์ประกอบนี้คล้ายคลึงกับที่รายงานโดยสมทิพย์ (2551) ได้รายงานว่ากากขี้แป้งประกอบไปด้วย ธาตุ Al, Si, S, Ca, และ Rb ด้วยค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.35, 0.61, 0.85, 1.88, และ 0.26 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบธาตุอื่นๆอีกเล็กน้อยได้แก่ Fe, Ni, Mn, Cu, Pb, Cr, Ti โดยธาตุที่พบดังกล่าวอยู่ในรูปของสารประกอบของ MgO, Al_2O_3, SiO_2, P_2O_5, SO_3, K_2O, CaO, MnO_2 Fe_2O_3, NiO, และ CuO

2.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของขี้เถ้า

ตารางที่6 แสดงลักษณะทางกายภาพและเคมีของขี้เถ้า พบว่าขี้เถ้ามีค่า pH ที่เป็นด่างจัด และมีค่าK สูง ขี้เถ้าประกอบไปด้วยสารประกอบของMgO, Al_2O_3, SiO_2, SO_3, Cl, CaO, Fe_2O_3, MnO_2, ZnO, Rb, SrO, P_2O_5 และ K_2O โดยพบ CuO สูงสุดถึง 38.7%โดยเฉลี่ย และรองลงมาคือ K_2O(19.22%) และ SiO_2(6.11%) ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขี้เถ้าประกอบด้วยสารยึดประสานที่มากกว่ากากขี้แป้ง

3. การผสมของกากขี้แป้ง ขี้เถ้า และ additiveในการทำเป็นวัสดุแผ่นก้อน แข็งที่เหมาะสม1-3 สูตร

3.1 ลักษณะทางเคมีและกายภาพของกากขี้แป้งและขี้เถ้าที่ใช้ทดลอง

แสดงดังตารางที่ 7

3.2การศึกษาขั้นทดลองเบื้องต้นแบบ pre screening

ตารางที่ 8 แสดงถึงผลการทดลองเบื้องต้นโดยการใช้ pre screening ของลักษณะทางกายภาพ ที่สังเกตได้จากการทดลอง พบว่าเมื่อเปรียบเทียบชุดทดลองที่ใช้กากขี้แป้งจาก 3 แหล่ง คือ ถังปั่น บ่อพักน้ำยาง และหางน้ำยาง พบว่า ชุดทดลองที่ใช้กากขี้แป้งจากถังปั่นมีความสามารถในการแข็งตัวได้เร็วที่สุด รองลงมา คือ ชุดที่ใช้กากขี้แป้งจากบ่อพักน้ำยาง และหางน้ำยาง และชุดทดลองที่มีการผสมของกากอุตสาหกรรม STR 20 พบว่าใช้เวลาในการแข็งตัวนานที่สุด และหากมีการผสมร่วมกับซีเมนต์จะใช้เวลาการแข็งตัวเร็วที่สุดภายในไม่กี่ชั่วโมง สำหรับกรณีที่มีการผสมกับขี้เถ้าพบว่าจะมีความสามารถในการแข็งตัวได้เร็ว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ พบว่า ชุดที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์มีความสามารถในการแข็งตัวได้เร็วกว่าชุดที่มีส่วนผสมของขี้เถ้า และกรณีที่มีการเติมวัสดุอินทรีย์อื่นเช่นกากตะกอนSTR20 และขี้เลื่อยพบว่าจะเกิดมีราขึ้นบนวัสดุก้อนแข็งที่ได้ และทุกชุดการทดลองที่มีการเติมกากขี้แป้งพบว่าเริ่มต้นการขึ้นรูปจะมีกลิ่นแอมโมเนีย แต่กลิ่นจะลดลงเมื่อทิ้งให้แห้ง นอกจากนี้พบว่าวัสดุก้อนแข็งที่ขึ้นรูปหากได้มีการการตากแดด พบว่า จะใช้เวลาแข็งตัวที่เร็วกว่าการวางให้แห้งในที่ร่ม แสงแดดจึง

ตารางที่ 6. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของขี้เถ้าจากโรงรมยาง

พารามิเตอร์	พิสัย	ค่าเฉลี่ย±SD
คุณลักษณะทางกายภาพ		
ความหนาแน่น (kg/m^3)	845-1,501	1,218±337
สี	ดำเทา	
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น	
ความชื้น (%)	14.84-17.11	15.07 ±2.21
คุณลักษณะทางเคมี		
pH	12.46-12.67	12.56±0.11
TP as P (% dry weight)	1.88-2.23	2.03±0.18
TK as K (% dry weight)	8.90-11.99	10.30±1.56
MgO (%)	2.50-3.30	2.82±0.60
Al_2O_3(%)	0.92-1.32	1.08±0.30
SiO_2 (%)	5.07-7.18	6.11±1.49
SO_3 (%)	1.64-2.78	2.07±0.89
Cl (%)	0.13	0.13±0.00
CaO (%)	36.96-41.02	38.70±2.96
Fe_2O_3 (%)	0.60-3.14	1.54±1.97
MnO_2 (%)	1.66-2.45	2.00±0.58
ZnO (%)	0.08-0.09	0.09±0.01
Rb (%)	0.11-0.31	0.21±0.14
SrO (%)	0.15-0.21	0.18±0.04
P_2O_5 (%)	2.70-5.03	3.92±1.65
K_2O (%)	17.04-23.47	19.22±5.21

ตารางที่ 7. ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกากขี้แป้งและขี้เถ้าที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์			
	กากขี้แป้ง			ขี้เถ้า
	ถังพัก	ถังปั่น	หางน้ำยาง	
คุณลักษณะทางกายภาพ สี	สีขาวเทาหรือขาวอมเหลือง	สีขาวเทาหรือขาวอมเหลือง	สีขาวเทาหรือขาวอมเหลือง	ดำเทา
กลิ่น	แอมโมเนียเล็กน้อย	แอมโมเนียเล็กน้อย	แอมโมเนียเล็กน้อย	ไม่มีกลิ่น
ความชื้น (%)	43.60	34.35	40.85	14.84
ความหนาแน่น (kg/m^3)	730.35	ND	ND	845
คุณลักษณะทางเคมี pH	9.06	9.19	8.70	12.54
Ash (%TS)	39.50	39.60	40.00	ND
VS (%TS)	60.50	60.40	60.00	ND
TN (% dry weight)	3.90	4.15	5.62	ND
TP (% dry weight)	4.89	6.12	2.88	ND
TK (% dry weight)	ND	0.421	0.625	10.41
Mg (% dry weight)	ND	2.562	2.793	0.20
Zn (% dry weight)	ND	0.146	0.281	0.05
MgO (%)	ND	15.48	12.69	3.30
Al_2O_3(%)	ND	0.12	0.45	1.32
SiO_2 (%)	ND	0.34	1.01	7.18
SO_3 (%)	ND	0.48	0.48	1.64
Cl (%)	ND	-	-	0.13
CaO (%)	ND	0.37	0.46	38.13
Fe_2O_3 (%)	ND	-	-	0.60
MnO_2 (%)	ND	-	-	1.66
ZnO (%)	ND	0.64	2.43	0.08
Rb (%)	ND	0.06	0.08	0.11
SrO (%)	ND	-	-	0.15
P_2O_5 (%)	ND	39.12	34.28	5.03
K_2O (%)	ND	1.92	2.47	17.04

Note: ND : not determined, -: not detected

ตารางที่ 8. ผลการทดสอบเบื้องต้นเพื่อศึกษาการแข็งตัวของกากขี้แป้ง ขี้เถ้าและวัสดุผสมอื่นๆ

ชุดที่ทดลอง	มีราขึ้น	มีกลิ่น	แตกหัก	เวลาที่ใช้ในการแข็งตัว (วัน)	
				ตากแดด	ที่ร่ม
A:กากขี้แป้งจากแต่ละแหล่ง					
A-1	ไม่มี	มี	ยาก	3	4
A-2	ไม่มี	มี	ยาก	2	3
A-3	ไม่มี	มี	ยาก	3	4
A-4	ไม่มี	มี	ง่าย	6	7
B: กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆกับกากตะกอนSTR20					
B-1	ขึ้น	มี	ยาก	4	5
B-2	ขึ้น	มี	ยาก	4	6
B-3	ขึ้น	มี	ยาก	6	8
B-4	ขึ้น	มี	ยาก	10	12
B-5	ขึ้น	มี	ยาก	10	12
C: กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆกับกากฝุ่นMDFและขี้เลื่อย					
C-1	ไม่มี	มี	ยาก	3	4
C-2	ขึ้น	มี	ยาก	3	5
D:กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆกับกากแป้งจากโรงงานถุงยางอนามัย					
D-1	ไม่มี	มี	ยาก	3	4
D-2	ขึ้น	มี	ยาก	3	5
E:กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆกับขี้เถ้าและปูนซีเมนต์					
E-1	ไม่มี	มี	ยาก	2	3
E-2	ไม่มี	มี	ยาก	2	3
E-3	ไม่มี	มี	ยาก	1	2
E-4	ไม่มี	มี	ยาก	2	3
E-5	ไม่มี	มี	ยาก	2	4
E-6	ไม่มี	มี	ยาก	2	4
E-7	ไม่มี	มี	ยาก	2 ชม.	3 ชม.
E-8	ไม่มี	มี	ยาก	5 ชม.	7 ชม.

เป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการแข็งตัวให้เร็วขึ้น แต่ใช้เวลาที่แตกต่างกันไม่มากนักหากเมื่อเปรียบเทียบกับที่วางในที่ร่ม (ใช้เวลาต่างกันในช่วง1-2วัน) ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัจจัยในการทำให้แห้งโดยการใช้แสงแดดการทดลองต่อไปจึงใช้วิธีการทำให้แข็งตัวในที่ร่ม สำหรับลักษณะทางกายภาพของการทดสอบเบื้องต้นนี้แสดงในรูปที่ 1

1 คือ ชุดทดลองที่ A-1, 8 คือ ชุดทดลองที่ B-2
2 คือ ชุดทดลองที่ A-2, 9 คือ ชุดทดลองที่ B-4
3 คือ ชุดทดลองที่ A-3, 10 คือ ชุดทดลองที่ B-5
4 คือ ชุดทดลองที่ A-4 ,11 คือ ชุดทดลองที่ E-1
5 คือ ชุดทดลองที่ D-1, 12 คือ ชุดทดลองที่ E-2
6 คือ ชุดทดลองที่ D-2, 13 คือ ชุดทดลองที่ C-1
7 คือ ชุดทดลองที่ B-1, 14 คือ ชุดทดลองที่ C-2

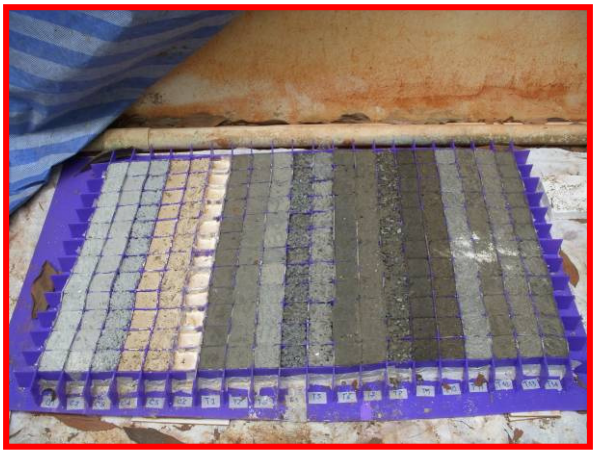
รูปที่ 1. ผลการทดสอบการแข็งตัวในขั้น pre screening

3.3 การทดลองผสมเพื่อหาสูตรในการทำก้อนแข็ง

โดยทดสอบภายใต้ชุดทดลอง 24 ชุด (ตารางที่2) แต่ละชุดทดลองทำ 12 ก้อน ดังแสดงในรูปที่2 อนึ่งในขณะที่ทำการขึ้นรูปก้อนแข็ง พบว่า ชุดการทดลองที่มีการเติมกากตะกอน STR20 และฝุ่น MDF(Medium density fiberboard) จะพบว่ามีลักษณะของ leachate สีน้ำตาลชะซึมออกจากก้อนแข็ง และชุดที่มีการเติมตะกอนแป้งจากโรงงานถุงยางอนามัย จะพบว่าราเกิดขึ้นในขณะที่รอให้เกิดการแข็งตัว ดังนั้นในการศึกษาค่าตัวแปรต่างๆของชุดการทดลองที่มีการใช้กากขี้แป้งจากถั่งปั่น ขี้เถ้า ปูนซีเมนต์ และวัสดุเศษเหลืออื่นๆดังชุดทดลองที่ ง1-ง6 จะไม่ได้นำตัวอย่างมาทดสอบตัวแปรต่างๆทั้งหมด ทั้งนี้ด้วยมีข้อจุดอ่อนดังกล่าวข้างต้น

3.3.1ลักษณะทางกายภาพของก้อนแข็ง

ตารางที่ 9 แสดงลักษณะทางกายภาพของก้อนแข็งที่ได้ พบว่า ค่าความชื้นจะลดลงเมื่อระยะเวลาในการบ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบชุดทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่มีส่วนผสมของกากขี้แป้งจะ



รูปที่ 2. การขึ้นรูปก้อนแผ่นแข็ง

ตารางที่ 9 แสดงลักษณะทางกายภาพของก้อนแข็งที่ได้

ชุดทดลอง	ความหนาแน่นที่20วัน (g/cm^3)	ความถ่วงจำเพาะที่ 20วัน	ความพรุน (%)	ความชื้น (%)		
				บ่มที่ 10 วัน	บ่มที่ 20 วัน	บ่มที่ 28 วัน
ก-1	2.08	2.08	10.57	4.95	5.23	2.62
ก-2	2.10	2.10	12.20	5.94	5.45	3.91
ก-3	1.94	1.94	8.23	4.18	3.23	2.83
ข-1	1.00	1.00	ND	67.63	62.37	51.40
ข-2	0.94	0.94	ND	61.95	56.17	47.91
ข-3	0.70	0.70	ND	77.38	80.20	83.13
ค-1	1.48	1.48	31.88	25.27	18.09	15.58
ค-2	1.65	1.65	13.85	19.33	9.95	5.47
ค-3	1.51	1.51	45.51	33.67	31.10	24.26
ค-4	1.12	1.12	59.16	40.40	28.06	33.06
ค-5	1.63	1.63	15.95	10.40	11.76	10.47
ค-6	1.41	1.41	38.52	27.65	23.63	17.23
ค-7	1.32	1.32	43.79	31.48	21.63	15.16
ค-8	1.68	1.68	220.38	15.90	12.23	8.43
ค-9	1.04	1.04	20.27	19.80	18.02	14.58
ค-10	1.21	1.21	25.80	31.00	22.07	14.49
ค-11	1.51	1.51	49.31	32.98	31.58	27.76
ค-12	1.31	1.31	34.16	27.13	22.43	24.34
ง-1	ND	ND	32.59	ND	ND	ND
ง-2	ND	ND	51.59	ND	ND	ND
ง-3	ND	ND	34.42	ND	ND	ND
ง-4	ND	ND	43.22	ND	ND	ND
ง-5	ND	ND	31.12	ND	ND	ND
ง-6	ND	ND	36.95	ND	ND	ND

Note ND: not determined

มีค่าความชื้นสูง แต่ชุดทดลองที่มีส่วนผสมของขี้เถ้าจะมีค่าความชื้นต่ำ และเมื่อมีการเพิ่มส่วนผสมของกากขี้แป้งค่าความชื้นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นแสดงให้เห็นว่านอกจากน้ำที่มีอิทธิพลต่อความชื้นของวัสดุก้อนแข็งแล้ว

พบว่าวัสดุที่นำมาใช้ในการผสมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความชื้น โดยเฉพาะความชื้นของกากขี้แป้งเองมีผลทำให้ค่าความชื้นของชุดทดลองที่มีส่วนผสมของกากขี้แป้งสูงกว่าชุดทดลองที่มีส่วนผสมของขี้เถ้า สำหรับค่าความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของวัสดุก้อนแข็งพบว่าจะลดลงตามระยะเวลาในการบ่มเช่นกัน โดยชุดที่มีการใช้ซีเมนต์ ทรายและหินจะให้ค่าความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะสูงสุด และสำหรับค่าความพรุนพบว่าหากเป็นชุดทดลองที่มีการใช้หิน และกากขี้แป้งเป็นส่วนผสมจะให้ค่าความพรุนมากขึ้นและชุดควบคุมที่ใช้ปูนซีเมนต์จะพบว่ามีค่าความพรุนน้อยกว่าชุดควบคุมที่ใช้กากขี้แป้งจาก 3 แหล่ง คือ กากขี้แป้งจากถังปั่น บ่อพักน้ำยาง และหางน้ำยางแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างภายในของชุดควบคุมที่ใช้ปูนซีเมนต์มีการยึดโยงกันได้ดี และชุดทดลองที่มีส่วนผสมของกากตะกอนอุตสาหกรรมถุงยางอนามัย ฝุ่นละเอียดจากอุตสาหกรรม MDF และกากเสียจากอุตสาหกรรม STR 20 พบว่า ชุดทดลองที่มีส่วนผสมของกากอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภท มีค่าความพรุนสูง เนื่องจากโครงสร้างภายในมีความสามารถในการยึดโยงน้อยกว่า

3.3.2 การรับแรงอัดของวัสดุก้อนแข็ง

ตารางที่10 แสดงค่าการรับแรงของวัสดุก้อนแข็งที่ใช้ทดสอบ ค่าการรับแรงอัดของชุดควบคุม ซึ่งใช้สัดส่วนของซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:3 จะให้ค่าการรับแรงที่ 63-95 ksc ซึ่งค่านี้มีค่าคล้ายคลึงกับค่าที่รายงานโดย สราวุธและฤทธิศักดิ์ (2551) ที่ทำการผสมทราย:ซีเมนต์:น้ำเท่ากับ 3:1:0.75 และให้ค่าการรับแรงอัดที่ 93.38 ksc ผลการทดลอง พบว่า เมื่อระยะเวลาในการบ่มที่มากขึ้น ทำให้ค่ารับแรงอัดมีค่าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นแล้ว หินก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งช่วยให้ค่าการรับแรงเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากหินเป็นวัสดุที่ช่วยเชื่อมประสานภายในวัสดุก้อนแข็งเข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถสังเกตได้จาก ชุดทดลองที่มีการใช้หินเป็นส่วนผสมจะมีค่าการรับแรงอัดมากขึ้น พบว่า ชุดทดลองที่มีการใช้กากขี้แป้งจะมีค่าการรับแรงอัดที่น้อยกว่าชุดทดลองที่ใช้ขี้เถ้า เนื่องจากขี้เถ้ามีองค์ประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสานมากกว่าชุดทดลองที่มีส่วนผสมของกากขี้แป้ง ส่วนชุดทดลองที่มีการใช้กากของเสียอุตสาหกรรม 3 ประเภท คือ กากตะกอนแป้งจากอุตสาหกรรมถุงยางอนามัย ฝุ่นละเอียดจากอุตสาหกรรม MDF และกากของเสียจากอุตสาหกรรม STR 20 พบว่าทั้ง 3 ประเภทช่วยให้มีค่าการรับแรงอัดที่สูงขึ้นได้เล็กน้อย

3.3.3 การชะล้างและการชะซึม

ตารางที่ 11 แสดงค่าความเป็นกรดด่าง TDS และTDVSของน้ำที่ผ่านการชะล้างและการชะซึมของวัสดุก้อนแข็ง พบว่า น้ำที่ชะล้างวัสดุก้อนแข็งส่วนใหญ่เป็นด่างจัด ยกเว้นก้อนแข็งที่มีการใช้เฉพาะกากขี้แป้งอย่างเดียวจะมีค่าความเป็นด่างน้อยกว่า ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำที่ผ่านการชะล้างและการชะซึมที่ 24 48 และ 72 ชั่วโมง จะมีค่า pH สูงขึ้นเมื่อมีการชะล้างนานขึ้น และพบว่าเมื่อระยะเวลาในการชะล้างมากขึ้น ชุดทดลองส่วนใหญ่มีแนวโน้มของค่าของแข็งละลาย (TDS) และของแข็งละลายที่สามารถระเหยได้ (TDVS) ในน้ำที่ผ่านการชะล้างและการชะซึมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจาก เมื่อระยะเวลาในการชะล้างมากขึ้น ความสามารถในการเคลื่อนย้ายของของแข็งสู่น้ำที่ใช้ในการชะล้างจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อทำเป็นวัสดุแผ่นแข็งสำหรับตกแต่งสวน เมื่อเกิดการชะล้างของน้ำฝนจะทำให้ของแข็งเคลื่อนที่ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ และชุด

ตารางที่ 10. ค่าการรับแรงอัดของวัสดุก้อนแข็งที่ทดสอบ

ชุดทดลอง	การรับแรงอัด (ksc)	
	บ่มที่ 12 วัน	**บ่มที่ 30 วัน**
ก-1	95.06	95.48
ก-2	22.38	63.12
ก-3	15.46	22.63
ข-1	-	1.09
ข-2	-	0.91
ข-3	-	-
ค-1	5.55	24.48
ค-2	-	13.16
ค-3	ND	6.00
ค-4	-	0.66
ค-5	3.57	8.11
ค-6	2.18	3.15
ค-7	-	-
ค-8	-	-
ค-9	18.92	27.16
ค-10	-	2.64
ค-11	-	5.51
ค-12	5.34	5.56
ง-1	ND	7.15
ง-2	ND	2.79
ง-3	ND	9.54
ง-4	ND	3.03
ง-5	ND	10.33
ง-6	ND	4.72

หมายเหตุ : - คือ ไม่ทดสอบได้ เนื่องจากไม่สามารถรับแรงกดได้ในขณะทดสอบ

ND: Not determined

ตารางที่ 11. ค่าความเป็นกรดด่าง TDS และTDVSของน้ำที่ผ่านการชะล้างและการชะซึมของวัสดุก้อนแข็ง

ชุดทดลอง	TDS*		TDVS*		pH		
	ที่ 24 ชั่วโมง	ที่ 72 ชั่วโมง	ที่ 24 ชั่วโมง	ที่ 72 ชั่วโมง	ที่ 24 ชั่วโมง	ที่ 48 ชั่วโมง	ที่ 72 ชั่วโมง
ก-1	1484.45	2844.93	738.17	737.00	12.38	13.46	13.57
ก-2	1243.25	1971.63	226.81	366.41	12.27	13.37	13.47
ก-3	1442.34	1282.75	765.49	451.24	12.26	13.23	13.28
ข-1	9322.89	10876.31	3123.65	3848.05	8.84	8.23	8.15
ข-2	13421.51	15309.09	6769.11	5297.17	7.98	7.86	7.81
ข-6	8540.85	62454.43	6791.52	38736.33	7.71	7.49	7.36
ค-1	7632.25	13527.45	3144.83	4081.25	12.57	12.92	12.96
ค-2	10665.41	ND	2190.00	ND	12.89	13.06	ND
ค-3	14339.05	18691.59	670.58	5080.17	12.71	12.94	12.97
ค-4	7343.49	4419.92	3102.63	1331.83	12.24	11.76	11.69
ค-5	6928.52	6771.76	1456.56	1986.04	12.59	12.83	12.86
ค-6	11075.65	23637.65	1092.67	4805.57	12.73	13	13.11
ค-7	9842.15	10736.95	3027.13	1736.70	11.96	12.17	12.37
ค-8	6275.32	7408.84	1444.68	1049.44	10.94	11.12	11.31
ค-9	20607.97	11818.98	8859.06	1257.83	13.06	13.15	13.4
ค-10	8859.79	6941.57	3734.55	1185.15	12.37	12.74	12.96
ค-11	23057.94	19436.19	3607.59	1680.40	13.13	13.17	13.35
ค-12	18595.87	11790.19	6406.14	6787.17	12.91	12.92	13.13
ง-1	11008.48	ND	1606.98	ND	13.05	13.25	ND
ง-2	13209.98	ND	791.69	ND	10.17	10.05	ND
ง-3	15390.35	ND	2647.09	ND	13.12	13.27	ND
ง-4	13907.57	ND	1078.91	ND	12.27	12.75	ND
ง-5	16353.32	ND	2372.05	ND	13.04	13.28	ND
ง-6	11634.55	ND	714.65	ND	11.93	12.58	ND

หมายเหตุ *หน่วยคือ µgในน้ำชะ/gแห้งของวัสดุก้อนแข็ง, ND: not determined

ทดลองที่มีการใช้ส่วนผสมของกากขี้แป้งและกากวัสดุเศษเหลือจะให้ค่าTDS และTDVS มากกว่าชุดที่ไม่เติมกากดังกล่าวหรือเมื่อมีการใช้กากดังกล่าวผสมน้อยลง

ได้นำน้ำที่ชะออกจากวัสดุก้อนแข็งไปวิเคราะห์หาค่า TN, TP, TK, Mg และ Zn เพื่อดูความสามารถการชะออกของธาตุอาหารและโลหะหนักที่อยู่ในกากขี้แป้งที่ใช้เป็นวัสดุผสมในการทำก้อนแข็ง ตารางที่ 12 แสดงถึงค่าที่วิเคราะห์ได้ดังกล่าว ค่าที่แสดงเป็นค่าที่ทำการชะออกที่ 72 ชั่วโมง อนึ่งได้ทำการทดลองวิเคราะห์ที่ 24 48 และ 72 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าเมื่อเวลาการชะล้างนานขึ้นการชะออกของสารอาหารและโลหะหนักดังกล่าวมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย และจากการทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่มีส่วนผสมของกากขี้แป้งจะมีปริมาณN, Pในน้ำชะล้างมากกว่าชุดทดลองที่มีส่วนผสมของขี้เถ้า และชุดการทดลองที่มีการใช้ขี้เถ้าเป็นวัสดุผสมในการขึ้นรูปก้อนแข็งจะมีแนวโน้มในการปลดปล่อย K ออกมาสูงกว่าที่ไม่ใช้ขี้เถ้าหรือใช้ขี้เถ้าในปริมาณที่น้อยลง ซึ่งN, P และK จัดได้ว่าเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความจำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งหากนำกากขี้แป้งและขี้เถ้ามาประยุกต์ทำเป็นวัสดุแผ่นแข็งสำหรับงานตกแต่งสวน นอกจากจะให้ประโยชน์ในด้านเป็นวัสดุก้อนแข็งในการตกแต่งแล้วยังสามารถเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารให้แก่พืชได้อีกด้วย

ตารางที่ 12. ค่า TN, TP, TK, Mg และ Zn ในน้ำชะล้างและการชะซึมของวัสดุก้อนแข็งที่ทดสอบ

ชุดทดลอง	TN	TP	TK	Mg	Zn
ก-1	1.51	4.86	752.73	0.68	0.05
ก-2	2.74	4.14	278.82	0.36	0.07
ก-3	6.39	3.31	259.94	0.39	0.02
ข-1	764.25	211.25	2073.93	90.72	70.98
ข-2	1891.07	244.49	2242.51	214.68	32.47
ข-3	691.36	170.11	2915.06	220.85	205.00
ค-1	241.13	9.62	3708.92	4.30	0.79
ค-3	903.65	10.82	5057.47	1.66	0.17
ค-4	1267.63	17.17	1662.35	6.22	0.49
ค-5	112.43	5.42	1374.21	1.32	0.08
ค-6	363.67	16.59	3006.55	1.87	0.16
ค-7	612.41	23.94	3969.85	6.70	0.77
ค-8	229.91	37.17	2572.49	35.82	3.49
ค-9	161.39	5.46	3977.22	30.68	2.04
ค-10	114.85	13.12	2895.13	6.77	0.61
ค-11	312.09	9.83	8210.10	8.99	0.78
ค-12	545.44	5.75	3719.13	3.69	0.39

Note: ND: not determined, มีหน่วยเป็นμgในน้ำชะ/gแห้งของวัสดุก้อนแข็ง

สำหรับโลหะหนักในน้ำชะล้างวัสดุก้อนแข็ง พบว่าชุดทดลองที่มีส่วนผสมของกากขี้แป้งจะมีปริมาณ Mgและ Znในน้ำชะล้างมากกว่าชุดทดลองที่มีส่วนผสมของขี้เถ้าหรือที่ใช้ซีเมนต์เป็นส่วนผสมหลัก

การใช้อัตราส่วนผสมของกากขี้แป้งมากขึ้นทำให้มีปริมาณ Mg และ Znในน้ำชะล้างเพิ่มสูงขึ้น ทั้ง Mg และ Zn มีคุณสมบัติเป็นธาตุอาหารรองให้แก่พืชได้ และเป็นส่วนประกอบสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งเมื่อนำกากขี้แป้งมาพัฒนาเป็นวัสดุแผ่นแข็งสำหรับตกแต่งสวน นอกจากจะให้ประโยชน์ในด้านความสวยงามแล้วยังสามารถใช้เป็นแหล่งชะออกของธาตุอาหารรองให้แก่พืชได้อีกด้วย

3.3.4 การสกัดและการชะซึมด้วยวิธี wet extraction test เพื่อประเมินความเป็นอันตราย

ของเหลวที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี wet extraction testได้นำไปหาค่า pHและZn ดังแสดงในตารางที่ 13 ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการสกัดด้วยวิธี wet extraction test เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยใช้ 0.2 M citric acid เป็นตัวสกัด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าน้ำที่ทำการชะล้างและการชะซึมด้วยน้ำกลั่น พบว่า ค่า pH ของน้ำที่ผ่านการสกัดด้วยด้วยวิธี wet extraction testจะมีค่าต่ำกว่า แต่สำหรับค่า Zn จะพบได้มากกว่าเนื่องจากการชะล้างด้วยน้ำกลั่นจะใช้วัสดุก้อนแข็งทั้งก้อนในทดลอง ส่วนการสกัดด้วยวิธี wet extraction test จะทำการทุบก้อนแข็งจนละเอียดเพื่อนำมาทำการทดลอง เป็นผลให้อัตราการซึมผ่านของน้ำและการชะออกของสารแตกต่างกัน โดยกรณีที่ทำการทุบก้อนแข็งให้ละเอียดจะทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำที่เข้าสู่อนุภาคของก้อนแข็งที่ถูกทุบมากกว่ากรณีการชะโดยใช้ก้อนแข็งทั้งก้อน และทำให้ค่า Zn ของน้ำที่ผ่านการสกัดด้วยด้วยวิธี wet extraction test มีค่าสูงกว่าน้ำที่ทำการชะล้างและการชะซึมด้วยน้ำกลั่น ประกอบกับมีการใช้กรดเป็นสารสกัดจึงทำให้โลหะหนักถูกชะออกมาได้มากกว่า และจะเห็นว่าในชุดที่มีการใช้กากขี้แป้งเป็นวัสดุผสมในการขึ้นรูปก้อนแข็งจะให้ Zn ชะออกมามากกว่า อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าการสกัดออกนี้กับค่ามาตรฐานที่สกัดด้วย wet extraction testที่กำหนดโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม ที่ระบุถึงความเป็นอันตราย พบว่าค่าที่ได้มีค่าที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานดังกล่าว(ค่ามาตรฐานกำหนดไว้สำหรับ Zn ต้องไม่มากกว่า 500 mg/L) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการใช้กากขี้แป้งเป็นสารผสมในการทำวัสดุก้อนแข็งไม่ได้ก่อให้เกิดการเป็นอันตรายจากส่วนที่เป็น Zn ที่ชะออกมาจากกากขี้แป้ง อย่างไรก็ตามค่าpHในน้ำชะที่ได้ในกรณีใช้ซีเมนต์และขี้เถ้าเป็นสารผสมในการทำก้อนแข็งจะให้ค่าเป็นด่างจัด ดังนั้นการใช้ประโยชน์การใช้วัสดุก้อนแข็งดังกล่าวอาจมีข้อจำกัดอยู่บ้างในกรณีจากผลกระทบจากน้ำชะที่มีค่าเป็นด่างจัดนี้

3.3.5 ลักษณะทางเคมีของวัสดุก้อนแข็งที่ศึกษาด้วยเครื่อง XRF

จากการศึกษาด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF)ของตัวอย่างวัสดุก้อนแข็ง พบว่า ชุดทดลองแต่ละชุดมีองค์ประกอบทางเคมีของ Al_2O_3 , SiO_2 และ CaO ซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน จากการตรวจเอกสาร พบว่า Al_2O_3 และ SiO_2 เกิดการทำปฏิกิริยาร่วมกับด่างที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างน้ำกับไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกตที่อยู่ในปูนซีเมนต์ ทำให้ได้สารประกอบ 2 ชนิด คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH)และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$)โดยที่แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) จะทำหน้าที่เป็นสารยึดประสาน และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$) ที่มีคุณสมบัติเป็นด่างเมื่อทำปฏิกิริยากับ Al_2O_3 และ SiO_2 และ CaO เกิดเป็นสารยึดประสานได้ (ชัชวาล และคณะ, 2548)

จากการทดลองเบื้องต้น พบว่า ชุดทดลองที่มีส่วนผสมของขี้เถ้าจะมีองค์ประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสานมากกว่าชุดทดลองที่มีส่วนผสมของกากขี้แป้ง แสดงว่าชุดทดลองที่มีส่วนผสมของขี้เถ้ามี

ความสามารถในการยึดประสานได้ดีกว่าชุดทดลองที่มีส่วนผสมของกากขี้แป้ง ซึ่งสามารถแสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุก้อนแข็งด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF) ได้ดังตารางที่ 14 ที่สอดคล้องกัน โดยพบว่าชุดที่มีการเติมกากขี้แป้งและขี้เถ้าจะมีองค์ประกอบของ SiO_2 และ CaO มากกว่าแต่พบว่ามี Al_2O_3ไม่มากกว่าชุดควบคุมที่มีการใช้ซีเมนต์เป็นสารยึดประสานหลัก

ตารางที่ 13. ค่า pH และ Zn ในของเหลวที่ได้จากการสกัดวัสดุก้อนแข็งด้วยวิธี wet extraction test

ชุดทดลอง	**pH**	**Zn (µgในน้ำชะ/gแห้งของวัสดุก้อนแข็ง)**	**Zn ในน้ำสกัด (mg/L)**
ก-1	12.88	2.05	0.492
ก-2	11.72	0.70	0.169
ก-3	12.31	2.38	0.573
ข-1	6.58	428.57	59.22
ข-2	6.48	123.94	16.79
ข-3	5.61	432.33	55.59
ค-1	11.71	2.01	0.417
ค-3	11.72	2.19	0.406
ค-4	10.29	14.19	2.71
ค-5	10.41	2.55	0.565
ค-6	10.44	2.99	0.618
ค-7	9.75	10.30	2.067
ค-8	7.12	1.86	0.434
ค-9	12.93	2.06	0.435
ค-10	10.79	2.97	0.592
ค-11	12.13	1.66	0.297
ค-12	11.86	1.25	0.244

ตารางที่ 14. ลักษณะทางเคมีของวัสดุก้อนแข็งจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF

ชุดทดลอง	ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF (%)												
	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	MnO_2	Fe_2O_3	ZnO	Rb	SrO
ก-1	0.69	4.56	42.52		1.73	3.22	37.53			2.79		0.05	0.04
ก-2	1.01	4.56	32.97	0.26	1.72	3.41	44.34			3.02		0.06	0.05
ก-3	0.84	2.7	26.97	0.26	1.05	1.51	47.07			1.73		0.02	0.10
ค-1	1.90	1.90	19.73	3.25	1.15	3.34	46.17		0.25	2.20	0.22	0.03	0.07
ค-3	3.80	1.26	5.36	6.36	1.53	2.81	47.13		0.24	1.68	0.52	0.03	0.07
ค-4	5.45	1.20	5.95	10.81	1.28	0.96	40.77			1.56	0.81	0.02	0.05
ค-6	3.55	1.88	18.04	6.98	1.51	3.40	42.60		0.33	1.51	0.33	0.04	0.07
ค-9	2.55	2.49	19.43	4.37	1.96	3.12	46.44	0.20	0.22	2.40	0.20	0.04	0.07
ค-10	5.23	2.89	29.04	10.70	1.68	3.24	37.35		0.22	2.17	0.63	0.05	0.05
ค-11	4.06	1.18	5.89	8.09	1.47	5.15	48.37		0.49	1.87	0.54	0.04	0.09
ค-12	3.95	2.27	20.80	7.84	1.94	6.48	44.45		0.80	2.10	0.49	0.05	0.09
ง-1	3.22	1.88	13.95	4.10	1.89	3.82	51.91		0.39	2.02	0.37		0.08
ง-3	3.24	1.79	14.31	4.76	1.59	3.67	53.26		0.44	2.02	0.25	0.03	0.08

4.การขึ้นรูปวัสดุก้อนแข็งเพื่อสร้างเป็นผลิตภัณฑ์

ผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดในข้อ3 สามารถพิจารณาการใช้ประโยชน์การขึ้นรูปวัสดุก้อนแข็งโดยใช้กากของเสียจากกากขี้แป้งและขี้เถ้าเป็นวัสดุผสมทดแทนการใช้ทราย(ผลการใช้ทดแทนซีเมนต์จะให้ผลไม่ชัดเจน) เพื่อสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

4.1 วัสดุแผ่นแข็งที่ใช้ตกแต่งเพื่อความสวยงามและรับแรงอัดไม่มากและได้ผลพลอยได้จากเป็นแหล่งชะออกของสารอาหารพืช

ชุดที่สามารถนำมาทำเป็นวัสดุก้อนแข็งเพื่อการตกแต่งสวน แต่ใช้ในงานที่ไม่ต้องรับแรงมาก เพื่อใช้ในงานโชว์ความสวยงาม แต่ขณะเดียวกันใช้ประโยชน์เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารได้ด้วย ซึ่งสามารถเลือกใช้จากสูตรการผสมของ ค-1ที่ประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ ทราย ขี้เถ้าและกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน 1:1:1:1 ทั้งนี้สูตรการผสมนี้เป็นชุดที่ให้ค่าการรับแรงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้ซีเมนต์เป็นส่วนผสมหลัก(ไม่เลือกการใช้ปูนตราช้างเมื่อมีค่าการรับแรงอัดได้สูงกว่าเนื่องจากปูนตรานี้มีราคาสูงกว่า) โดยมีค่าการรับแรงในระยะเวลาการบ่มที่ 30 วัน เท่ากับ 24.48 ksc มีค่าความพรุนของก้อนแข็ง เท่ากับ 31.88 % และให้ค่าไนโตรเจนในน้ำชะ เท่ากับ 241.13 µg ในน้ำชะ/g แห้งของวัสดุก้อนแข็ง ซึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้ในการตกแต่งสวนจะจัดทำเป็นวัสดุแผ่นแข็งตกแต่งบริเวณสนามหญ้าคล้ายกับแผ่นปูทางเท้าแต่ต่างกันที่ความสามารถในการรับแรงอัดน้อยกว่าแผ่นปูทางเท้าทั่วไป การใช้งานอาจสร้างเป็นแผ่นโชว์ในงานตกแต่งสวนน้ำ ซึ่งการทดลองได้ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นก้อนแข็งขนาด30 X 30 X 5 ลบ.ซม. นอกจากนี้ได้ทำการขึ้นรูปแผ่นก้อนแข็งโดยใช้สูตรค-3 ที่ประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ ขี้เถ้าและกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน 1:1:2 ที่มีค่าการรับแรงอัดที่รองลงมาด้วย โดยเปรียบเทียบกับสูตรการผสมซีเมนต์หลักคือสูตรก-1ที่ประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือและทรายในอัตราส่วน 1:3 สามารถแสดงภาพของผลการขึ้นรูปได้ดังรูปที่ 3 ซึ่งผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการขึ้นรูปแผ่นก้อนแข็งให้มีขนาดใหญ่ขึ้นก็สามารถทำได้ โดยไม่มีการแตกร้าวของวัสดุแผ่นก้อนแข็ง และใช้เวลาในการแข็งตัวที่ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมที่ใช้ซีเมนต์และทรายเป็นหลัก และเมื่อทิ้งไว้ให้แข็งตัวประมาณ 2 สัปดาห์จะไม่มีกลิ่น

รูปที่ 3. ผลการขึ้นรูปวัสดุแผ่นแข็งที่ไม่ต้องรับแรงมาก และใช้โชว์ความสวยงาม
A:ซีเมนต์:ทราย=1:1 B:ซีเมนต์ ขี้เถ้าและกากขี้แป้งจากถังปั่น=1:1:2 และ
C:ซีเมนต์ ทราย ขี้เถ้าและกากขี้แป้งจากถังปั่น= 1:1:1:1

4.2วัสดุก้อนแข็งที่สามารถตกแต่งสวนในด้านเป็นวัสดุประดับและเป็นธาตุอาหารให้พืชได้

ชุดที่สามารถนำมาทำเป็นวัสดุก้อนแข็งที่สามารถตกแต่งสวนในด้านเป็นวัสดุประดับและเป็นธาตุอาหารให้พืชได้ ซึ่งสามารถเลือกใช้จากสูตรการผสมของ ค-3 ที่ประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ ขี้เถ้าและกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน 1:1:2 และสูตรของ ค-4 ที่ประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ และกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน 1:3 ทั้งนี้สูตรการผสมนี้เป็นชุดที่ให้ค่าการรับแรงไม่มากแต่สามารถขึ้นรูปเป็นก้อนแข็งได้ง่าย แต่ให้ค่าสารอาหารพืช(N, P, K, Mg)ในน้ำชะมาก(ดูข้อมูลในตารางที่10, 12) การทดลองได้ทำการขึ้นรูปเป็นก้อนขนาด2-3 ซม.เปรียบเทียบกับการชุดควบคุม(ข-1)ที่ใช้เฉพาะกากขี้แป้งอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยคาดหวังการใช้งานเพื่อเป็นวัสดุประดับรอบกระถางต้นไม้หรือวัสดุตกแต่งแทนหินประดับใต้ต้นไม้ในสวนแต่สามารถใช้เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารพืชในขณะรดน้ำต้นไม้ได้ด้วย โดยผลจากการขึ้นรูปพบว่าใช้เวลาในการแข็งตัวใกล้เคียงกัน และไม่มีลักษณะการแตกร้าวที่แตกต่างกัน และเมื่อทิ้งไว้ให้แข็งตัวประมาณ 2 สัปดาห์จะไม่มีกลิ่นของแอมโมเนียที่มาจากกากขี้แป้ง

รูปที่ 4 . ผลการขึ้นรูปวัสดุก้อนแข็งที่สามารถตกแต่งสวนในด้านเป็นวัสดุประดับและเป็นธาตุอาหารให้พืชได้, A: กากขี้แป้งอย่างเดียว B:ซีเมนต์และกากขี้แป้งจากถังปั่น= 1:3 และC: ซีเมนต์ ขี้เถ้าและกากขี้แป้ง= 1:1:2

5.การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในการนำกากขี้แป้งและขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมยาง มาใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุแผ่นแข็งสำหรับงานตกแต่ง โดยพิจารณาเปรียบเทียบถึงค่าใช้จ่ายในการใช้กากขี้แป้ง และขี้เถ้า ในการทำวัสดุแผ่นแข็งเพื่อเทียบกับวัสดุแผ่นแข็งที่ขายตามท้องตลาดที่มีการใช้ซีเมนต์และทรายเป็นส่วนผสมหลัก ทั้งนี้จะเน้นการประเมินและคำนวณในเบื้องต้น โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สามารถวิเคราะห์ได้เท่านั้น โดยใช้สูตรค-1ที่มีส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย ขี้เถ้า กากขี้แป้ง ในอัตราส่วน 1:1:1:1ในการคำนวณ

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินการคิดจากราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตวัสดุแผ่นแข็งคือทราย 20 กิโลกรัมราคา 30 บาท ปูนตราเสือ 50 กิโลกรัม ราคา 152 บาท กากขี้แป้งจากถังปั่น 270 กิโลกรัม ราคา 600 บาท (คิดจากแรงงานคนที่ต้องใช้ในการเตรียมกากขี้แป้ง) และใช้ค่าความหนาแน่นของทรายเท่ากับ 1.55 g/cm^3 ความหนาแน่นของปูนตราเสือเท่ากับ1.18 g/cm^3 และความหนาแน่นของกากขี้แป้งจาก

ถังปั่นเท่ากับ1.01 g/cm^3 ทั้งนี้ค่าความหนาแน่นได้มาจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ทำให้สามารถคำนวณต้นทุนในการผลิตวัสดุแผ่นแข็งที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ ทราย ขี้เถ้า และกากขี้แป้งจากถังปั่น ในอัตราส่วน 1:1:1:1 ซึ่งมีขนาดของแผ่นแข็ง เท่ากับ 30 x 30 x 5 cm^3 ได้ปริมาตรของแผ่นแข็งเท่ากับ 4,500 cm^3 (1 อัตราส่วนในการผสม = 1,125 cm^3) จะมีราคาต้นทุนรวม เท่ากับ 9.25 บาท/แผ่น ซึ่งราคาซื้อขายในท้องตลาดอยู่ที่ประมาณ 65-90 บาท/แผ่น (จากการสำรวจราคาตามท้องตลาด) จึงสามารถประเมินได้ว่าการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการทำเป็นวัสดุแผ่นแข็งน่าจะมีศักยภาพในการสร้างกำไรได้หากมีการพัฒนาไปใช้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

สรุปผล

1.โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีอัตราการผลิตกากขี้แป้งรวมเฉลี่ยจากทั้ง3จุดคือบ่อพักน้ำยางสด ถั่งปั่นยางและบ่อจับยางสกิมเท่ากับ 3.35 ตัน/วัน หรือคิดเป็นอัตราการผลิตกากขี้แป้งรวมเฉลี่ยทั้งสิ้นเท่ากับ 40 กก./ตันน้ำยางข้น ในขณะที่โรงงานยางแผ่นรมควันมีอัตราการเกิดขี้เถ้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 65 กก./ตันยางแผ่นรมควัน

2.ขี้เถ้าประกอบไปด้วยสารประกอบของMgO, Al_2O_3, SiO_2, SO_3, Cl, CaO, Fe_2O_3, MnO_2, ZnO, Rb, SrO, P_2O_5 และ K_2O โดยพบ CaO สูงสุดถึง 38.7%โดยเฉลี่ย และรองลงมาคือ K_2O(19.22%) และ SiO_2(6.11%)ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขี้เถ้าประกอบด้วยสารยึดประสานที่มากกว่ากากขี้แป้ง

3.วัสดุก้อนแข็งที่ขึ้นรูปโดยใช้กากขี้แป้งหากได้มีการตากแดด พบว่าจะใช้เวลาแข็งตัวที่เร็วกว่าการวางให้แห้งในที่ร่ม แต่เวลาที่ใช้ไม่แตกต่างกันมากโดยอยู่ในช่วง 1-2 วัน

4.ชุดที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์มีความสามารถในการแข็งตัวได้เร็วกว่าชุดที่มีส่วนผสมของขี้เถ้าและกากขี้แป้ง และเมื่อมีการบ่มนานขึ้นจะให้ค่ารับแรงอัดมากขึ้น พบว่าชุดการผสมที่มีการเติมกากขี้เถ้ามากขึ้นจะให้ค่าการรับแรงอัดสูงกว่าการเติมกากขี้แป้ง แสดงให้เห็นว่าขี้เถ้าช่วยเป็นสารยึดประสานได้ดีกว่ากากขี้แป้ง

5.การใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการผสมเพื่อขึ้นรูปเป็นวัสดุก้อนแข็งและนำไปทำการชะล้างโดยน้ำจะทำให้เกิดการชะออกของสารอาหารพืชทั้งในรูป N, P และK ได้ รวมทั้งให้การชะออกของโลหะหนักในรูป Zn และ Mg ด้วย แต่เมื่อทำการทดสอบการชะออกของโลหะหนักดังกล่าวเพื่อประเมินความเป็นอันตรายโดยทดสอบกับวิธีของ wet extraction test พบว่าการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมยางพาราในการผสมเพื่อใช้ทำเป็นวัสดุก้อนแข็งไม่ก่อให้เกิดการความเป็นอันตรายในการชะออกของโลหะหนัก

6.การใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการเป็นวัสดุผสมในการผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งสามารถใช้ประโยชน์ได้ในแง่การใช้ทดแทนวัสดุผสมหลักเช่นทราย แต่ไม่ให้ผลในการใช้ทดแทนซีเมนต์

7.การใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการเป็นวัสดุผสมในการผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งสามารถใช้ประโยชน์ได้ 2 รูปแบบคือ 1) วัสดุแผ่นแข็งที่ใช้ตกแต่งเพื่อความสวยงามและรับแรงอัดไม่มากและได้ผลพลอยได้จากเป็นแหล่งชะออกของสารอาหารพืช โดยสูตรผสมที่เหมาะสมประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ ทราย ขี้เถ้าและกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน 1:1:1:1 และ 2)วัสดุก้อนแข็งที่สามารถตกแต่งสวนในด้าน

เป็นวัสดุประดับกระถางต้นไม้และปิดดินใต้ต้นไม้และใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารให้พืชได้ด้วย โดยสูตรผสมที่เหมาะสมประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ ขี้เถ้าและกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน 1:1:2 และสูตรที่ประกอบด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ และกากขี้แป้งจากถังปั่นในอัตราส่วน 1:3

8.ต้นทุนในการผลิตวัสดุแผ่นแข็งที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ตราเสือ ทราย ขี้เถ้า และกากขี้แป้งจากถังปั่น ในอัตราส่วน 1:1:1:1 ซึ่งมีขนาดของแผ่นแข็ง เท่ากับ 30 x 30 x 5 cm^3 มีราคาต้นทุนรวมที่ติดจากค่าใช้จ่ายจากวัสดุหลักเท่ากับ 9.25 บาท/แผ่น หากเทียบกับราคาซื้อขายในท้องตลาดในปัจจุบัน สามารถกล่าวได้ว่าการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการทำเป็นวัสดุแผ่นแข็งน่าจะมีศักยภาพในการสร้างกำไรได้หากมีการพัฒนาไปใช้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

ข้อเสนอแนะ

1.ข้อเสนอแนะการทำวิจัยต่อ

การวิจัยครั้งต่อไปควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

1. การพัฒนาสูตรการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการการใช้เป็นวัสดุผสมในการเป็นวัสดุหล่อภาชนะที่ใช้ในงานปลูกต้นไม้ต่างๆ เช่นกระถางต้นไม้

2. การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับอัตราการชะออกของสารอาหารพืชและโลหะหนักจากการใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าในการใช้เป็นวัสดุผสมทำแผ่นก้อนแข็งต่างๆทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

2.ข้อเสนอแนะของวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ระดับอุตสาหกรรมหรือขยายผลสู่สังคม

1. การถ่ายทอดเทคโนโลยีของผลการวิจัยที่ได้สู่กลุ่มอุตสาหกรรมชุมชนหรือธุรกิจที่ผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งในการตกแต่งสวน เพื่อให้เกิดการรับรู้และเป็นประเด็นการพัฒนาทางเลือกของการผลิตแผ่นก้อนแข็งที่มีคุณสมบัติการใช้งานที่หลากหลายมากต่อไป

2. การพัฒนาความรู้และงานวิจัยด้านการผลิตแผ่นก้อนแข็งโดยใช้กากขี้แป้งและขี้เถ้าจากกากของเสียอุตสาหกรรมยางพาร่วมเป็นวัสดุผสมกับกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชนหรือธุรกิจที่ผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งในการตกแต่งสวนเพื่อให้ได้วัสดุแผ่นก้อนแข็งที่เหมะสมยิ่งขึ้นในการพัฒนาสู่การสร้างผลิตภัณฑ์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. **ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว** (ออนไลน์).สืบค้นจาก: http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/laws/000180774 [20กรกฎาคม 2551].

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. **ของเสียอันตราย.** พิมพ์ครั้งที่ 1 ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี, 2546.

ฉัตรดนัย จิระเดชะ. **การปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง**. ใน กรมโรงงานอุตสาหกรรม ตำราระบบการจัดการมลพิษกากอุตสาหกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 1 สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, นนทบุรี, 2548.

ชัชวาล เศรษฐบุตร, สมหวัง แม้นพิมลชัย, สมชาย จิตต์วโรดม และธีรชัย พันธ์มีเชาว์. **ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน.** ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, กรุงเทพฯ, 2548**.**

ปิติ สุคนธสุขกุล. **คอนกรีตขั้นพื้นฐาน.** ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2549.

มัลลิกา ปัญญาคะโป. **การจัดการของเสียอันตราย.** โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2549.

วราศรี เถกประสิทธ์. **การนำกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์, 2543.

สราวุธ จริตงามและ ฤทธิศักดิ์ จริตงาม. **การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของปูนซีเมนต์ผสมน้ำหมาก**, เอกสารประกอบการประชุม 10ปีวิชาการแม่ฟ้าหลวง, 26-28 พฤศจิกายน 2551, มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, จังหวัดเชียงราย. 2551**,** 254-261.

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์. **การพัฒนาสู่ระดับอุตสาหกรรมเพื่อนำกากของเสียจากโรงงานน้ำยางข้นมาใช้ใหม่: กรณีศึกษาของกากขี้แป้ง,** รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ รหัสโครงการ 05011508, 2551

AOAC. **Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemists**,15th ed., AOAC Inc., USA, 1990.

APHA, AWWA and WEF. **Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater**. 21st ed. American Public Health Association , New York, 2005**.**

Danteravanich, S., Yonglaoyoong, S., Sridang, P. and Wisunthorn, S. Survey of Current Environmental Aspects of STR20 Industry in Southern Thailand, **Proceeding in Asian-Pacific Regional Conference on Practical Environmental Technology,** 1-2 August 2007, Khon Khen, Thailand. 2007.

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ

"การใช้กากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้นและขี้เถ้าจากโรงงานยางแผ่นรมควันเพื่อเป็นวัสดุผสมสำหรับผลผลิตวัสดุแผ่นก้อนแข็งเพื่องานตกแต่ง"

สัญญาเลขที่ RDG5150038

<table>
<tr><th>ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ</th><th>ชี้แจ้งโดยนักวิจัย</th></tr>
<tr><td>

<u>ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editorial)</u>
1.หัวข้อผลการดำเนินงาน หน้า จ ควรสรุปให้กระชับว่างานนี้ทำอะไร ได้ผลอย่างไร
2. สรุปผลการดำเนินงาน ไม่จำเป็นต้องสรุปแยกย่อยเกินไป ควรสรุปให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์
3. หัวข้อวิธีการ ควรแยกเป็นวัสดุและสารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ แล้วเป็นวิธีการดำเนินงาน โดยเขียนแยกให้เห็นว่าเตรียมการทดลองอย่างไร อาจเรียงตามลำดับหรือแยกเป็นหัวข้อ
4. การแปรสัดส่วนในตารางที่ 1 และ2 อ่านแล้วสับสน ควรทำตารางใหม่ให้อ่านเข้าใจง่ายเช่นตารางที่ 2 กากขี้แป้งจากถังปั่น ขี้เถ้าและปูนซีเมนต์
<table>
<tr><td>ชุดทดลอง</td><td>ตราเสือ</td><td>ทราย</td><td>หิน</td><td>ขี้เถ้า</td><td>กากขี้แป้ง</td></tr>
<tr><td>ค-1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>ค-2</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0.5</td><td>1.5</td></tr>
</table>
5.หัวข้อผลการวิจัยและวิจารณ์ผล Heading ควรจะจัดไว้กลางหน้ากระดาษ (เนื่องจากการจัดหน้ากระดาษ ทำให้หัวข้อนี้ไม่ชัดเจน ตกไปอยู่ใต้ตารางหน้า8) และหัวข้ออื่นๆก็เช่นกัน
6. สัดส่วนที่ใช้ ใช้อะไรเป็นเกณฑ์ ดูแล้วไม่ได้แปรผันกัน

</td><td>

1. ได้ปรับแก้ไขเพิ่มเติมแล้วดังแสดงในหน้าจ.
2.ได้ปรับแก้ไขโดยสรุปเป็นไปตามวัตถุประสงค์แล้ว
3.ได้ปรับเขียนเพิ่มในหัวข้อวัสดุและสารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือแล้ว
4.ได้ปรับเขียนตารางที่ 1-2 ตามที่แนะนำแล้ว
5.ได้ปรับheadingใหม่โดยเพิ่มขนาดขนาดของตัวพิมพ์ให้ใหญ่ขึ้นเพื่อดูง่ายขึ้น
6.สัดส่วนที่ใช้จะพิจารณามาจากสูตรที่มีการใช้ในการหล่อแผ่นซีเมนต์ทำแผ่นรองพื้นในการแต่งสวนที่มีการใช้งานในการทำจริง แล้วทำการvary โดยลดสัดส่วนหรือเพิ่มสัดส่วนของส่วนผสมหลักของกากขี้แป้งและขี้เถ้าเพื่อทดแทนการใช้ซีเมนต์

</td></tr>
<tr><td>

<u>ข้อสังเกต</u>
1. ผู้วิจัยมีวิธีการทำให้วัสดุแห้ง 2วิธีคือ การตากแดด กับผึ่งแห้ง โดยมีข้อสังเกตคือ 1. การตากแดด อุณหภูมิไม่คงที่ แต่เป็นวิธีที่ประหยัด ข้อเสียคือ ถ้าไม่มีแดดหรือมีไม่สม่ำเสมอจะทำให้สมบัติทางกายภาพแปรปรวน 2. การผึ่งแห้งจะทำให้สมบัติทางกายภาพลดลง ขอเสนอให้อบด้วยลมร้อน เพราะจะทำให้ผลการวิเคราะห์น่าเชื่อถือกว่าและได้สมบัติทางกายภาพที่ดีกว่า
2. การผสมกากขี้แป้ง+ขี้เถ้า โดยไม่ใช้ซีเมนต์เมื่อนำไปแช่ในน้ำ วัสดุจะลอยหรือไม่ หรืออาจใช้กาวเป็นตัวประสานในการนำไปทำเป็นหม้อสำหรับลอยอังคาร เพราะหม้อที่ใช้สำหรับบรรจุกระดูกผู้เสียชีวิตจะแพงมาก ถ้าทำได้จะเพิ่มมูลค่ามาก

</td><td>

1.เนื่องจากการวิจัยนี้ใช้หลักการผสมและวิธีการ set ตัวของวัสดุแผ่นแข็งที่เทียบกับชุดcontrolคือการหล่อโดยใช้ซีเมนต์ซึ่งต้องให้เกิดการsetตัวในภาวะปกติซึ่งไม่ต้องใช้การอบด้วยความร้อนให้แข็งตัว ดังนั้นการทดลองในขั้นpretestซึ่งต้องการดูการแห้งและการแข็งตัวของวัสดุดังกล่าวในภาวะไม่มีการผสมด้วยซีเมนต์ จึงต้องออกแบบทดลองโดยการตากแดดและการผึ่งให้แห้งในที่ร่มโดยไม่นำเข้าตู้อบ
2.ผสมแล้วจมน้ำได้ แต่ทิ้งไว้นานๆการละลายจะเกิดขึ้นได้ด้วยเช่นกัน

</td></tr>
</table>