



รายงานการวิจัย

เทคโนโลยีใหม่ในการเพิ่มมูลค่ากากของเสียขี้แป้งจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น
**NEW TECHNOLOGY FOR VALUE ADDED WASTE LATEX SLUDGES
FROM CONCENTRATED LATEX INDUSTRY**

ดร.วิรัช ทวีปรีดา

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉันทวี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์

คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2553 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมายังผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ ประสานงาน และอื่นๆ ซึ่งทำให้งานวิจัยสามารถดำเนินการไปได้ด้วยดี และงานวิจัยนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้เลยหากการสนับสนุนจากคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ชุดท้ายขอขอบพระคุณบริษัท ผลิตงู๊ดสาหกรรมน้ำอย่างขัน จำกัด เป็นอย่างสูง สำหรับความกรุณาในการอนุเคราะห์ตัวอย่าง สถานที่ และความสะดวกต่างๆตลอดการดำเนินงานโครงการวิจัย

คณะผู้วิจัย

กันยายน 2554

บทคัดย่อ
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

ชื่อโครงการ เทคโนโลยีใหม่ในการเพิ่มมูลค่ากากของเสียซีเปียจากอุตสาหกรรม
การผลิตน้ำยางข้น

New Technology for Value added Waste Rubber Sludges from
Concentrated Latex Industry

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2553 จำนวนเงิน 1,440,000 บาท

ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ กรกฎาคม 2553 ถึง กรกฎาคม 2554

หน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัยพร้อมหน่วยงานที่สังกัดและเลขหมายโทรศัพท์
ดร.วิรัช ทวีปรีดา

หน่วยงานที่สังกัด สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ 0-74-288-367 โทรสาร 0-74-446-925

ผศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์

หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ 0-74-287-116 โทรสาร 0-74-459-396

ผศ.ดร.ธันวดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์

หน่วยงานที่สังกัด คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ 0-74-286-844 โทรสาร 0-74-429-758

ส่วนที่ 2 บทคัดย่อ

กากซีเปียเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ซึ่งมีองค์ประกอบที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะเนื้อยางและธาตุอาหารในกากซีเปีย งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษากระบวนการนำกลับเนื้อยางจากกากซีเปีย การใช้ประโยชน์กากซีเปียหลังแยกเนื้อยาง และการชะละลายของธาตุต่างๆ จากผลิตภัณฑ์ในทุกขั้นตอนของกระบวนการศึกษา ผลการวิจัยพบว่าในกากซีเปียสดมีปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P, K) และกากซีเปียรอง (Mg, Ca, Zn) อยู่สูงกว่าธาตุอื่นๆ และมีปริมาณโลหะหนักต่ำกว่าค่าที่ยอมรับให้มีได้ในน้ำสกัดจากกากซีเปีย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดของเสียและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 เมื่อทดสอบการชะละลายพบว่า กากซีเปียมีการชะไนโตรเจนออกมามากที่สุด เมื่อนำกากซีเปียสดมาผ่าน

กระบวนการแยกเนื้อยาง โดยการใช้กระบวนการย่อยด้วยกรดกำมะถัน พบว่าความเข้มข้นของกรดกำมะถันมีผลต่อปริมาณและความบริสุทธิ์ของเนื้อยางที่แยกออกมาได้ โดยกรดกำมะถันที่มีความเข้มข้นมากกว่า 10% โดยน้ำหนัก จะย่อยกากจี๊แป้งและให้เนื้อยางเป็นปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก เมื่อผสมกากจี๊แป้งเข้ากับกรดกำมะถันที่อัตราส่วน 1:3 ตามน้ำหนัก ยางที่แยกออกมาได้เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพโดยการวัดค่าความหนืดมูนนี่ ค่าดัชนีความอ่อนตัว ปริมาณไนโตรเจน และเถ้า แล้วพบว่ามีความสัมพันธ์กับยาง STR20 สำหรับสารละลายที่เหลืออยู่ได้นำไปวิเคราะห์ต่อเพื่อแยกสารอนินทรีย์ และทำให้ได้ปุ๋ยฟอสเฟตที่มีมูลค่าของเสียที่เหลือมีลักษณะเป็นน้ำสีน้ำตาล มีค่าความสกปรกในรูป BOD สูง ซึ่งต้องทำการบำบัดต่อไป สำหรับกระบวนการแยกเนื้อยางจากกากจี๊แป้งด้วยวิธีทางกายภาพ คือ อบแห้งและร่อนแยกครั้งเดียว พบว่าสามารถนำกลับเนื้อยางได้ประมาณ 10% โดยน้ำหนัก ในขณะที่กากจี๊แป้งที่ร่อนผ่านตะแกรงยังชะธาตุอาหารออกมาได้สูง การศึกษานี้จึงนำกากจี๊แป้งเศษเหลือส่วนนี้มาผลิตเป็นกระถางและอิฐปลูกกล้วยไม้ โดยไม่นำไปเป็นปุ๋ยหรือวัสดุบำรุงดินโดยตรง เนื่องจากเนื้อยางที่ยังหลงเหลืออยู่ในกากจี๊แป้ง อาจส่งผลเสียต่อความพรุนของดิน ผลการศึกษาพบว่า ต้นมะลิและกล้วยไม้ซึ่งปลูกด้วยกระถางดินเผาและอิฐปลูกกล้วยไม้ที่มีส่วนผสมของกากจี๊แป้งหลังแยกเนื้อยางด้วยวิธีทางกายภาพ มีการเจริญเติบโตดีกว่าชุดการทดลองที่ผสมกากจี๊แป้ง และไม่ผสมกากจี๊แป้งตามลำดับ เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวมีการชะละลายธาตุอาหารได้ดีกว่า เนื่องจากการผสมกากจี๊แป้งที่ผ่านการแยกเนื้อยางทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า

คำสำคัญ : กากจี๊แป้ง น้ำยางข้น การนำกลับมาใช้ประโยชน์ การชะละลาย วัสดุปลูก

Waste rubber sludge is the waste produces from concentrated latex process and contains recoverable components especially rubber content and plant nutrients. This research aims to study the process to recover rubber content from waste rubber sludge, the utilization of this waste after recovery process and the leaching of several elements from these products. The result found was waste latex process contains higher concentration of major plant nutrients (N, P and K) and minor plant nutrients (Mg, Ca and Zn) than other elements. The heavy metal contents are much lower than that allowed in the extracted solution followed the notification of the Ministry of Industry announced the elimination of waste or unused materials (2005), Thailand. The recovery process using acid digestion yielded the recovered high quality rubber. It was found that the acid concentration affected on the recovery number and purity of retrieved rubber. High concentrated sulfuric acid (more than 10% by wt.) digested waste latex sludge and gave the rubber around 10% by wt. after mixed the waste sludge with sulfuric acid at the weight ratio 1:3. The quality of retrieved rubber, which was examined for Mooney viscosity (MV), plasticity retention index

(PRI), nitrogen content, and ash contents, was found that closed to the STR20 quality. The residue solution was further analyzed and separated for inorganic substance such as high value phosphate fertilizer. The remaining wastewater is a brown and contained high BOD which requires further treatment. For the physical rubber recovery process, drying and sieving, it could recover by 10% by weight of rubber content whereas the wasted sifted through a sieve still leach high nutrients concentration. Therefore the remaining waste was used to produce pots and orchid growing brick instead of use as plant or soil fertilizers because the rubber residue in this waste may adversely affect the soil porosity. The result showed the jasmine tree and orchid planted by using the products blended with sludge after physical recovery process had growing better than that use the products blended with waste latex sludge and control respectively. These may be due to the products blended with this waste had lower density hence the nutrients could leach more.

Keywords: waste latex sludge; concentrated latex; recovery; leaching; planting materials

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
บทนำรวม	1
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
3. รายละเอียดความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อย	2
4. ประโยชน์ที่ได้รับ	3
5. หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	3
โครงการย่อยที่ 1 เทคโนโลยีการแยกเนื้อเยื่อออกจากของเสียดกจีแป็งในระดับต้นแบบ	4
บทคัดย่อ	5
1. บทนำ	6
2. การทบทวนวรรณกรรม	7
2.1 น้่างยงธรรมชาติ	7
2.2 น้่างยงชั้น	8
2.3 กากจีแป็ง	9
3. ระเบียบวิธีดำเนินการ	21
3.1 การศึกษองคป์ระกอบของกากจีแป็ง	21
3.2 การศึกษาสมบัติของยงที่มีอยู่ในกากจีแป็ง	21
3.3 การศึกษากระบวนการแยกเนื้อเยื่อออกจากกากจีแป็ง โดยใช้กรดซัลฟูริก	22
3.4 การศึกษาสมบัติยงที่แยกออกจากกากจีแป็ง	23
4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	27
4.1 องคป์ระกอบของกากจีแป็ง	27
4.2 สมบัติยงที่มีอยู่ในกากจีแป็ง	29
4.3 การย่อยกากจีแป็ง โดยใช้กรดกำมะถัน	32
4.4 สมบัติและการแปรรูปร่างที่แยกออกจากกากจีแป็ง	36
4.5 แนวทางการใช้ประโยชน์จากน้่างยงกากจีแป็ง	38
5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	40
6. บรรณานุกรม	41

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
โครงการย่อยที่ 2 การเพิ่มมูลค่ากากของเสียชี้เป้งด้วยการนำมาใช้เป็นวัสดุ ทำกระถางต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้	44
บทคัดย่อ	45
1. บทนำ	47
2. การทบทวนวรรณกรรม	49
2.1 น้่างยงธรรมชาติ	49
2.2 การผลิตน้่างยงขึ้น	49
2.3 กากชี้เป้ง	52
2.4 การก้จัดกากชี้เป้ง	57
2.5 อิฐ	57
2.6 กระถางต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้	60
3. ระเบียบวิธีด้เนินการ	60
3.1 การเก็บตัวอย่างกากชี้เป้งจากโรงงานน้่างยงขึ้น	60
3.2 การเตรียมกากชี้เป้ง	60
4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	65
4.1 การเตรียมกากชี้เป้ง	65
4.2 ลักษณะของกระถางต้นไม้	68
4.3 การลดยธาตุอาหาร	71
4.4 การเจริญเติบโตของพืช	81
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	93
6. บรรณานุกรม	94

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
โครงการย่อยที่ 3 การชะโลหะหนักและแร่ธาตุจากของเสีย และผลิตภัณฑ์กากซีเมนต์หลังการแยกเนื้อยาง	96
บทคัดย่อ	97
1. บทนำ	99
2. การทบทวนวรรณกรรม	100
2.1 นำยางขึ้น	100
2.2 การผลิตน้ำยางขึ้น	101
2.3 ของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางขึ้น	103
2.4 การจัดการกากซีเมนต์	106
3. ระเบียบวิธีดำเนินการ	107
3.1 ศึกษาองค์ประกอบของที่ได้จากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตน้ำยางขึ้น	107
3.2 ศึกษาอัตราการย่อยสลายของกากซีเมนต์ทั่วไปและกากซีเมนต์ที่ผ่าน กระบวนการแยกเนื้อยาง	107
3.3 ศึกษาการชะละลายของธาตุโลหะ โลหะหนัก และธาตุอาหาร จากกองกากซีเมนต์ทั่วไปและกากซีเมนต์ที่ผ่านกระบวนการแยกเนื้อยาง	107
3.4 ศึกษาการชะละลายของธาตุโลหะ โลหะหนัก และธาตุอาหาร จากผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจากกากซีเมนต์ทั่วไปและกากซีเมนต์ที่ผ่าน กระบวนการแยกเนื้อยาง (ผลิตภัณฑ์จากโครงการย่อยที่ 2)	108
4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	108
4.1 แหล่งกำเนิดและปริมาณกากซีเมนต์	108
4.2 ลักษณะสมบัติของกากซีเมนต์	109
4.3 การชะละลายของธาตุอาหารและแร่ธาตุบางชนิดจากกากซีเมนต์	111
4.4 การชะละลายของธาตุอาหารและแร่ธาตุบางชนิดจากกากซีเมนต์ ที่ผ่านการแยกเนื้อยาง	119
4.5 การชะละลายของธาตุอาหารและแร่ธาตุบางชนิดจากผลิตภัณฑ์ที่มี ส่วนผสมกากซีเมนต์และกากซีเมนต์ที่ผ่านการแยกเนื้อยาง	121

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	124
6. บรรณานุกรม	125
สรุปแผนงานวิจัย	126
ประวัตินักวิจัย	127

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
โครงการย่อยที่ 1	
ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณธาตุอาหารของกากจี้เป้งอบแห้ง	12
ตารางที่ 2.2 แสดงสารประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย เครื่อง X – Ray Fluorescence (XRF)	14
ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลกากจี้เป้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น	16
ตารางที่ 2.4 แนวทางการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว	17
ตารางที่ 2.5 แสดงการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมในโรงงานยางพารา	19
ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณของสารที่ใช้ในการย่อยอย่างด้วยกรดซัลฟูริก	22
ตารางที่ 3.2 สูตรยางธรรมชาติตามมาตรฐาน ASTM D3184-89	24
ตารางที่ 3.3 ลำดับการผสมสารเคมี	25
ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติของตะกอนกากจี้เป้ง	27
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของยางที่แยกได้จากกากจี้เป้ง เปรียบเทียบกับยางมาตรฐาน STR5L	31
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณยางที่แยกออกมาได้จากกากจี้เป้งโดยใช้กรดกำมะถัน ที่มีความเข้มข้น และปริมาณต่างๆ กัน	35
ตารางที่ 4.4 สมบัติของยางที่แยกออกจากกากจี้เป้งเปรียบเทียบกับยาง STR 5L	36
โครงการย่อยที่ 2	
ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารของกากจี้เป้งอบแห้ง	55
โครงการย่อยที่ 3	
ตารางที่ 2.1 ปริมาณธาตุอาหารของกากจี้เป้งอบแห้ง	105
ตารางที่ 4.1 สมบัติของกากของเสี้ยจี้เป้ง	110
ตารางที่ 4.2 ปริมาณแร่ธาตุและโลหะหนักบางชนิดที่ถูกชะละลายออกจาก กากจี้เป้งสดที่สกัดด้วยน้ำกลั่น	113
ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารปนเปื้อนในดินรอบกองกากจี้เป้ง	117

สารบัญภาพ

เรื่อง	หน้า
โครงการย่อยที่ 1	
รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้น	9
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะเบื้องต้นของกากจีแป็ง	10
รูปที่ 2.3 แสดงแผนภูมิปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ของกากจีแป็งอบแห้ง	12
รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการบดอัดรีดเพื่อแยกเนื้อยางออกจากกากจีแป็ง	21
รูปที่ 4.1 Waste sludge from latex industry	27
รูปที่ 4.2 TGA Thermogram of waste sludge	28
รูปที่ 4.3 TGA Thermogram of waste sludge after dewatering by compression	28
รูปที่ 4.4 TGA Thermogram of waste sludge after drying in air oven for 24 hours	29
รูปที่ 4.5 TGA Thermogram of waste sludge after filtering	29
รูปที่ 4.6 TGA Thermogram of coagulated rubber with formic acid	30
รูปที่ 4.7 TGA Thermogram of purified retrieved rubber by dissolving with toluene	30
รูปที่ 4.8 FT-IR Spectra of purified retrieved rubber	31
รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบหาน้ำหนักโมเลกุลของเนื้อยางที่แยกจากกากจีแป็ง	32
รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบหาน้ำหนักโมเลกุลของเนื้อยางSTR 5L	32
รูปที่ 4.11 แสดงประสิทธิภาพการย่อยกากจีแป็งโดยใช้กรดกำมะถันเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก	33
รูปที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพการย่อยกากจีแป็งโดยใช้กรดกำมะถันเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก	33
รูปที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพการย่อยกากจีแป็งโดยใช้กรดกำมะถันเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก	33
รูปที่ 4.14 แสดงประสิทธิภาพการย่อยกากจีแป็งโดยใช้กรดกำมะถันเข้มข้น 30% โดยน้ำหนัก	34
รูปที่ 4.15 ภาพแสดงการขยายระดับการแยกเนื้อยางออกจากกากจีแป็งที่มีน้ำหนัก 30 กิโลกรัม	36
รูปที่ 4.16 แสดงชิ้นงานที่ได้จากการแปรรูปยางที่แยกออกจากกากจีแป็ง	37
รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ	38
รูปที่ 4.18 แสดง Powder XRD Pattern ของผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียมซัลเฟต	38
รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะการตกตะกอนของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต	39
รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะตะกอนแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตที่ได้จากงานวิจัย	39
รูปที่ 4.21 แสดง Powder XRD Pattern ของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต	39

สารบัญภาพ

เรื่อง	หน้า
โครงการย่อยที่ 2	
รูปที่ 1.1 ก. กากจีแป้งจากเครื่องปั่นเหวี่ยง ข. กากจีแป้งที่จับตัวเป็นก้อน ค. กากจีแป้งผ่านการอบแห้งและบดละเอียด	47
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆของน้ำยางสดหลังการปั่นแยก	50
รูปที่ 2.2 การผลิตน้ำยางข้นและการเกิดของเสียของโรงงานน้ำยางข้น	51
รูปที่ 2.3 กากจีแป้งจากเครื่องปั่นเหวี่ยง	52
รูปที่ 2.4 กากจีแป้งในถังตกตะกอน	52
รูปที่ 2.5 ลักษณะเบื้องต้นของกากจีแป้ง	53
รูปที่ 2.6 ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ของกากจีแป้งอบแห้ง	55
รูปที่ 3.1 ก. กากจีแป้งสด ข. การอบกากจีแป้ง	61
รูปที่ 3.2 ก. การหมักดิน ข. การเกรอะดิน ค. การปั่นกระถาง	62
รูปที่ 3.3 ก. การปั่นกระถาง ข. กระถางขึ้นรูปแล้ว ค. อิฐปลุกกล้วยไม้	62
รูปที่ 4.1 ปริมาณเนื้อยางในกากจีแป้งส่วนต่างๆ ตรวจวัดด้วยวิธี TGA	66
รูปที่ 4.2 ค่าของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids) และปริมาณยางในกากจีแป้งส่วนต่างๆ	66
รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณธาตุอาหารในกากจีแป้งส่วนต่างๆ	67
รูปที่ 4.4 ก. กระถางต้นไม้ สูตร 1 ข. สูตร 2 ค. สูตร 3	68
รูปที่ 4.5 SEM ของกระถางสูตร 1 ดินเหนียวอย่างเดียว ก. กำลังขยาย 100 เท่า ข. กำลังขยาย 500 เท่า ค. กำลังขยาย 1000 เท่า	69
รูปที่ 4.6 SEM ของกระถางสูตร 2 ดินเหนียว: กากจีแป้ง (80:20) ก. กำลังขยาย 100 เท่า ข. กำลังขยาย 500 เท่า ค. กำลังขยาย 1000 เท่า	69
รูปที่ 4.7 SEM ของกระถางสูตร 3 ดินเหนียว: กากจีแป้ง (80:20) โดยร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ก. กำลังขยาย 100 เท่า ข. กำลังขยาย 500 เท่า ค. กำลังขยาย 1000 เท่า	69
รูปที่ 4.8 SEM อิฐปลุกกล้วยไม้สูตร 1 (ดินเหนียวอย่างเดียว) ก. กำลังขยาย 100 เท่า ข. กำลังขยาย 500 เท่า ค. กำลังขยาย 1000 เท่า	70
รูปที่ 4.9 SEM อิฐปลุกกล้วยไม้สูตร 2 ดินเหนียว: กากจีแป้ง (80:20) ก. กำลังขยาย 100 เท่า ข. กำลังขยาย 500 เท่า ค. กำลังขยาย 1000 เท่า	70

สารบัญภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.10 SEM อิฐปลูกกล้วยไม้สูตร 2 ดินเหนียว: กากจี้แป้ง (80:20) โดยร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ก. กำลังขยาย 100 เท่า ข. กำลังขยาย 500 เท่า ค. กำลังขยาย 1000 เท่า	71
รูปที่ 4.11 SEM หินภูเขาไฟที่ขายตามท้องตลาด ก. กำลังขยาย 100 เท่า ข. กำลังขยาย 500 เท่า ค. กำลังขยาย 1000 เท่า	71
รูปที่ 4.12 ปริมาณธาตุอาหารในกระถางต้นไม้สูตรต่างๆ	72
รูปที่ 4.13 แสดงปริมาณธาตุอาหารในอิฐปลูกกล้วยไม้ (หลังจากป็นขึ้นรูปแล้วทำการเผาโดยใช้ความร้อนที่ 800-1000 °C)	73
รูปที่ 4.14 การชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้ สูตร 1 ดินเหนียวอย่างเดียว (เปลี่ยนน้ำทุกๆ 7 วัน)	74
รูปที่ 4.15 การชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้ สูตร 1 ดินเหนียวอย่างเดียว (แช่น้ำตลอด 28 วัน)	74
รูปที่ 4.16 การชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้ สูตร 2 ดินเหนียว: กากจี้แป้ง (80:20) (เปลี่ยนน้ำทุกๆ 7 วัน)	75
รูปที่ 4.17 การชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้ สูตร 2 ดินเหนียว: กากจี้แป้ง (80:20) (แช่น้ำตลอด 28 วัน)	75
รูปที่ 4.18 การชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้ สูตร 3 ดินเหนียว: กากจี้แป้ง (80:20) ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (เปลี่ยนน้ำทุกๆ 7 วัน)	76
รูปที่ 4.19 การชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้ สูตร 3 ดินเหนียว: กากจี้แป้ง (80:20) ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (แช่น้ำตลอด 28 วัน)	76
รูปที่ 4.20 การชะละลายธาตุอาหารของอิฐปลูกกล้วยไม้ สูตร 1 ดินเหนียวอย่างเดียว (เปลี่ยนน้ำทุกๆ 7 วัน)	78
รูปที่ 4.21 การชะละลายธาตุอาหารของอิฐปลูกกล้วยไม้ สูตร 1 ดินเหนียวอย่างเดียว (แช่น้ำตลอด 28 วัน)	78
รูปที่ 4.22 การชะละลายธาตุอาหารของอิฐปลูกกล้วยไม้ สูตร 2 ดินเหนียว: กากจี้แป้ง (80:20) (เปลี่ยนน้ำทุกๆ 7 วัน)	79
รูปที่ 4.23 การชะละลายธาตุอาหารของอิฐปลูกกล้วยไม้ สูตร 2 ดินเหนียว: กากจี้แป้ง (80:20) (แช่น้ำตลอด 28 วัน)	79

สารบัญภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.24 การชะละลายธาตุอาหารของอิฐปลูกกล้วยไม้ สูตร 3 ดินเหนียว: กากจี้แป้ง (80:20) ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (เปลี่ยนน้ำทุกๆ 7 วัน)	80
รูปที่ 4.25 การชะละลายธาตุอาหารของอิฐปลูกกล้วยไม้ สูตร 3 ดินเหนียว: กากจี้แป้ง (80:20) ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (แช่น้ำตลอด 28 วัน)	80
รูปที่ 4.26 ปริมาณธาตุอาหารในดินที่ใช้ปลูกต้นมะลิในหน่วยเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	81
รูปที่ 4.27 จำนวนใบของต้นมะลิของต้นมะลิในกระถางสูตรต่างๆ	82
รูปที่ 4.28 แสดงอัตราการเพิ่มจำนวนกิ่งของต้นมะลิ	82
รูปที่ 4.29 ก. ลำต้นมะลิสูตรที่ 1 ข. ลำต้นมะลิสูตรที่ 2 ค. ลำต้นมะลิสูตรที่ 3	82
รูปที่ 4.30 อัตราการเพิ่มจำนวนดอกของต้นมะลิ	83
รูปที่ 4.31 อัตราการเพิ่มความสูงของต้นมะลิ	83
รูปที่ 4.32 ความสูงต้นมะลิในกระถางแต่ละสูตร กระถางซ้ายคือต้นมะลิสูตรที่ 1, กระถางกลางคือต้นมะลิสูตรที่ 2, กระถางขวาคือต้นมะลิสูตรที่ 3	84
รูปที่ 4.33 อัตราการเพิ่มทรงพุ่มของต้นมะลิ	84
รูปที่ 4.34 ทรงพุ่มของต้นมะลิ	85
รูปที่ 4.35 อัตราการเพิ่มจำนวนใบของต้นกล้วยไม้สูตรต่างๆ	86
รูปที่ 4.36 ก. ต้นกล้วยไม้สูตรที่ 1 ข. ต้นกล้วยไม้สูตรที่ 2 ค. ต้นกล้วยไม้สูตรที่ 3	87
รูปที่ 4.37 อัตราการเพิ่มจำนวนหน่อของต้นกล้วยไม้สูตรต่างๆ	87
รูปที่ 4.38 ก. หน่อกล้วยไม้สูตร 1 ข. หน่อกล้วยไม้สูตร 2 ค. หน่อกล้วยไม้สูตร 3 ง. หน่อกล้วยไม้สูตร 4 (ช่วง 6 สัปดาห์แรกที่ทำการศึกษา)	88
รูปที่ 4.39 ก. หน่อกล้วยไม้สูตร 1 ข. หน่อกล้วยไม้สูตร 2 ค. หน่อกล้วยไม้สูตร 3 ง. หน่อกล้วยไม้สูตร 4 (ช่วง 12 สัปดาห์ที่ทำการศึกษา)	89
รูปที่ 4.40 แสดงอัตราการเพิ่มความสูงของต้นกล้วยไม้สูตรต่างๆ	90
รูปที่ 4.41 ตัวแทนต้นกล้วยไม้ที่ทำการปลูกทดลอง เรียงตามลำดับ โดยเริ่มจากซ้ายสุดคือ ต้นกล้วยไม้สูตรที่ 1, 2, 3 และ หินภูเขาไฟ	90

สารบัญภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.42 แสดงอัตราการเพิ่มความยาวรอบลำต้นกล้วยไม้สูตรต่างๆ	91
รูปที่ 4.43 ก. ลำต้นกล้วยไม้สูตร 1 ข. ลำต้นกล้วยไม้สูตร 2 ค. ลำต้นกล้วยไม้สูตร 3 ง. ลำต้นกล้วยไม้สูตร 4 (ช่วง 12 สัปดาห์ที่ทำการศึกษา)	91
โครงการย่อยที่ 3	
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้นและของเสียจากการผลิตน้ำยางข้น	102
รูปที่ 4.1 ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารสำคัญที่ถูกชะละลายออกจาก กากจี้เป้งสดที่สกัดด้วยน้ำกลั่นน้ำกลั่น	112
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารและอินทรีย์สารในกากจี้เป้งที่กองทิ้งในโรงงาน	115
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ในกองกากจี้เป้งที่กองทิ้งในโรงงาน	116
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทในสารสกัดกากจี้เป้ง ที่กองทิ้งในโรงงาน	116
รูปที่ 4.5 ปริมาณของธาตุอาหารที่ถูกชะออกมาจากกากจี้เป้งที่ผ่านการแยกเนื้ออย่าง ด้วยวิธีทางกายภาพ	120
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Total N ในกระถางดินเผาจากกากจี้เป้ง 3 ชนิด (FA, FB ,FC) เป็นระยะเวลา 28 วัน	121
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Total P ในกระถางดินเผาจากกากจี้เป้ง 3 ชนิด (FA, FB ,FC) เป็นระยะเวลา 28 วัน	121
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Total K ในกระถางดินเผาจากกากจี้เป้ง 3 ชนิด (FA, FB ,FC) เป็นระยะเวลา 28 วัน	122
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Mg ในกระถางดินเผาจากกากจี้เป้ง 3 ชนิด (FA, FB ,FC) เป็นระยะเวลา 28 วัน	122
รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Ca ในกระถางดินเผาจากกากจี้เป้ง 3 ชนิด (FA, FB ,FC) เป็นระยะเวลา 28 วัน	123
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Zn ในกระถางดินเผาจากกากจี้เป้ง 3 ชนิด (FA, FB ,FC) เป็นระยะเวลา 28 วัน	123

บทนำรวม

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำยางข้นในระดับอุตสาหกรรม น้ำยางสดจะถูกเติมสารละลายแอมโมเนียเพื่อการรักษาสภาพน้ำยางสด โดยแอมโมเนียจะเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนที่ถูกดูดซับที่ผิวของอนุภาคยาง และยังเกิดปฏิกิริยาได้กับ Multivalent metal ions เช่น Mg^{2+} ทำให้ได้ Magnesium ammonium phosphate ซึ่งจะตกตะกอนแยกออกจากน้ำยางเรียกว่ากากจีเป็ง ส่งผลให้อนุภาคเม็ดยางมีความเสถียรและคงสภาพเป็นน้ำยางสดอยู่ได้ น้ำยางสดก่อนเข้าสู่เครื่องปั่นแยกจะมีการเติมสารเคมี Diammonium hydrogen phosphate (DAP) เพื่อทำการตกตะกอนกากจีเป็งโดยปริมาณที่เติมจะขึ้นอยู่กับปริมาณแมกนีเซียมที่หลงเหลืออยู่ในน้ำยางสด โดยทั่วไปโรงงานจะทำการเติม DAP อยู่ในช่วง 1.35-2.22 กิโลกรัมต่อตันน้ำยางข้น ทำให้ได้ตะกอนกากจีเป็งประมาณ 12 กิโลกรัมต่อตันน้ำยาง ตะกอนกากจีเป็งจะเกิดจากหลายขั้นตอนของกระบวนการผลิตน้ำยางข้น เช่น จากกระบวนการปั่นแยกน้ำยางข้นโดยเครื่องเซนติฟิวส์ จะพบการอุดตันของตะกอนกากจีเป็งที่เกิดขึ้นบริเวณจานแยก เป็นผลให้ต้องหยุดเครื่องเซนติฟิวส์เพื่อทำการล้างทุกๆ 2 ชั่วโมง หรือแม้แต่การเก็บน้ำยางข้นที่ต้องมีการรักษาสภาพโดยแอมโมเนียเพื่อรอการบรรจุและจัดจำหน่าย ยังพบตะกอนกากจีเป็งที่บริเวณก้นถัง ซึ่งตะกอนกากจีเป็งที่ได้จากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะถูกเก็บรวบรวมและลำเลียงไปกองทับถมไว้ภายในโรงงาน ส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่าเสีย ทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากเนื่อยางที่ปนไปกับตะกอนกากจีเป็ง และกากจีเป็งที่ปนเปื้อนสารเคมีต่างๆ ที่ใช้กับน้ำยางสดอาจทำให้เกิดผลเสียต่อสภาวะแวดล้อมได้ทั้งในดินและแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียงได้

แต่จากข้อมูลสมบัติของกากจีเป็งที่ชี้ให้เห็นว่า ของเสียนชนิดนี้มีองค์ประกอบที่หลากหลาย และองค์ประกอบต่างๆมีความน่าสนใจในการนำกากจีเป็งมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น เนื่อยางในกากจีเป็งซึ่งมีอยู่ประมาณ 10-20% โดยน้ำหนัก หากสามารถแยกเนื่อยางเหล่านี้ ออกจากจีเป็งได้จะเป็นการลดการสูญเสียได้ไม่น้อย หรือจากข้อมูลสมบัติกากจีเป็งที่มี ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสี และแคลเซียม เป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืช แต่การนำของเสียนกากจีเป็งไปทำเป็นวัสดุบำรุงดินหรือปุ๋ยโดยตรงจะมีผลเสียต่อความพรุนตัวของดิน เนื่องจากยางที่เป็นองค์ประกอบจะก่อตัวเป็นชั้นฟิล์ม ทำให้ดินอัดรวมตัวกันแน่น และเกิดการปนเปื้อนของสารเคมีที่มีอยู่ในกากจีเป็งต่อแหล่งน้ำจากการชะล้างได้

งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะทำการศึกษาเพื่อแยกเนื่อยางออกจากของเสียนกากจีเป็ง เพื่อลดการสูญเสีย ทำให้ได้เนื่อยางที่มีมูลค่าเพิ่ม และกากจีเป็งที่ผ่านการแยกเนื่อยางออกแล้วจะถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยคณะผู้วิจัยสนใจที่จะพัฒนากากจีเป็งที่

แยกเนื้อย่างออกแล้วใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุคั้นเหนียวเพื่อทำกระถางปลูกต้นไม้ และหिनปลูกกล้วยไม้ เพื่ออาศัยการชะละลายของธาตุอาหารจากผลิตภัณฑ์เป็นแหล่งธาตุอาหารแก่พืชโดยตรง และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้จะทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปแบบของอัตราการย่อยสลายและการชะละลายของธาตุอาหาร ธาตุโลหะและโลหะหนักของกากจี้แป้งทั่วไปเปรียบเทียบกับกากจี้แป้งที่ผ่านการแยกเนื้อย่างเพื่อประเมินผลกระทบจากเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาร่วมด้วย

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

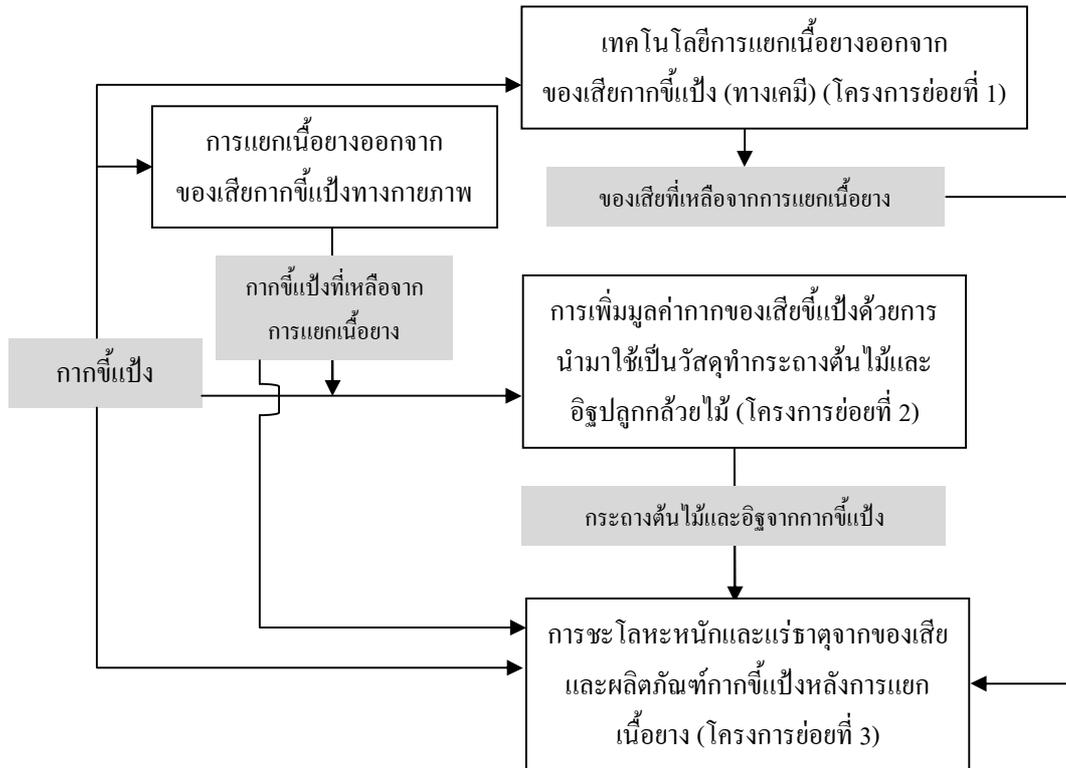
1. เพื่อศึกษากระบวนการจัดการกากจี้แป้งด้วยเทคโนโลยีการแยกเนื้อย่างและการเพิ่มมูลค่าของกากจี้แป้งที่ผ่านการแยกเนื้อย่าง โดยการใช้เป็นวัสดุผสมในการขึ้นรูปเป็นกระถางและวัสดุปลูกกล้วยไม้

2. เพื่อศึกษาผลกระทบของเทคโนโลยีการแยกเนื้อย่างจากกากจี้แป้งต่อการจัดการกากจี้แป้ง ในรูปแบบของอัตราการย่อยสลาย การชะละลายธาตุอาหาร ธาตุโลหะ และโลหะหนักจากกากจี้แป้งที่ผ่านการแยกเนื้อย่างและผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปจากกากจี้แป้งที่ผ่านการแยกเนื้อย่าง

3. รายละเอียดความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อย

โครงการวิจัยย่อยที่ 1 เป็นการศึกษากระบวนการแยกเนื้อย่างออกจากกากจี้แป้ง โดยใช้กระบวนการทางเคมี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำกลับเนื้อย่างให้ได้มากที่สุด ส่วนโครงการย่อยที่ 2 เป็นการศึกษากระบวนการแยกเนื้อย่างด้วยวิธีกายภาพอย่างง่าย เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีทางเคมี และมุ่งศึกษาการนำกากจี้แป้งและกากจี้แป้งที่เหลือจากการแยกเนื้อย่างไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ส่วนโครงการย่อยที่ 3 เป็นการศึกษาลักษณะสมบัติและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากวิธีการจัดการกากจี้แป้ง โดยศึกษาการชะละลายของธาตุอาหาร แร่ธาตุ โลหะหนักจากกากจี้แป้ง กากจี้แป้งที่ผ่านกระบวนการแยกเนื้อย่าง และผลิตภัณฑ์ต่างที่พัฒนาได้จากกากจี้แป้งเหล่านี้ ความเชื่อมโยงของโครงการย่อยทั้ง 3 โครงการภายใต้แผนงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังแผนภาพต่อไปนี้

แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของโครงการวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย



4. ประโยชน์ที่ได้รับ

ความรู้เกี่ยวกับของเสียกากชีเป้จากโรงงานผลิตน้ำยางขึ้นถึงรวมถึงกระบวนการแยกเนื้อเยื่อในระดับต้นแบบอุตสาหกรรม เพื่อเป็นแนวทางการลดการสูญเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางขึ้น และการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมภายในโรงงาน รวมทั้งความรู้เกี่ยวกับการใช้กากชีเป้เป็นวัสดุผสมทั้งเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ในการพัฒนาไปเป็นวัสดุใช้งานอื่นๆ เช่น วัสดุตกแต่งสวน วัสดุทางการเกษตร เป็นต้น และผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการพัฒนาเทคโนโลยีแยกเนื้อเยื่อจากชีเป้ ซึ่งความรู้ที่จะได้จากการศึกษาวิจัยนี้ จะเป็นทางเลือกสำหรับกลุ่มผู้ประกอบการ โรงงานผลิตน้ำยางขึ้นโดยตรงในการยกระดับการจัดการของเสียกากชีเป้ และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่ากลับคืน รวมทั้งสามารถเป็นแนวทางเลือกสำหรับกลุ่มผู้ผลิตวัสดุก่อสร้าง วัสดุปลูกทางการเกษตร ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายที่มีความสัมพันธ์แบบ forward linkage กับ โรงงานผลิตน้ำยางขึ้นสำหรับการศึกษารุ่นนี้

5. หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางขึ้นและผู้ประกอบการกิจการผลิตวัสดุทางการเกษตร (กระถางและอิฐ)



รายงานการวิจัย

เทคโนโลยีการแยกเนื้อเยื่อออกจากของเสียกากขี้แป้งในระดับต้นแบบ Industrial Prototype of Rubber Recovery Technology from Waste Latex Sludge (โครงการย่อยที่ 1)

คณะผู้วิจัย

1. ดร. วิรัช ทวีปรีดา หัวหน้าโครงการ
สถานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน
ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ผศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์ ผู้ร่วมวิจัย
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
3. ผศ.ดร.ธันวดี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ ผู้ร่วมวิจัย
คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

2554

บทคัดย่อ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

ชื่อโครงการ เทคโนโลยีการแยกเนื้อยางออกจากของเสี้ยากากจีเป็งในระดับต้นแบบ

Industrial Prototype of Rubber Recovery Technology from Waste Latex Sludge

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2553 จำนวนเงิน 480,000 บาท

ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ กรกฎาคม 2553 ถึง กรกฎาคม 2554

หน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัยพร้อมหน่วยงานที่สังกัดและเลขหมายโทรศัพท์
ดร.วิรัช ทวีปรีดา

หน่วยงานที่สังกัด สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ 0-74-288-367 โทรสาร 0-74-446-925

ผศ.ดร.ธันวาคม เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์

หน่วยงานที่สังกัด คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ 0-74-286-844 โทรสาร 0-74-429-758

ผศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์

หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ 0-74-287-116 โทรสาร 0-74-459-396

ส่วนที่ 2 บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้แยกเนื้อยางออกจากกากจีเป็งซึ่งไม่มีราคาโดยใช้กระบวนการย่อยด้วยกรดกำมะถัน พบว่าความเข้มข้นของกรดกำมะถันมีผลต่อปริมาณและความบริสุทธิ์ของเนื้อยางที่แยกออกมาได้ โดยกรดกำมะถันที่มีความเข้มข้นมากกว่า 10% โดยน้ำหนัก จะย่อยกากจีเป็งและให้เนื้อยางเป็นปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก เมื่อผสมกากจีเป็งเข้ากับกรดกำมะถันที่อัตราส่วน 1:3 ตามน้ำหนัก ยางที่แยกออกมาได้เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพโดยการวัดค่าความหนืดมูนี้ ค่าดัชนีความอ่อนตัว ปริมาณไนโตรเจน และเถ้า แล้วพบว่ามีความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกับยาง STR20 สำหรับสารละลายที่เหลืออยู่ได้นำไปวิเคราะห์ต่อเพื่อแยกสารอนินทรีย์ และทำให้ได้ปุ๋ยฟอสเฟตที่มีมูลค่า

คำสำคัญ : ยาง กากจีเป็ง การย่อยด้วยกรด การนำกลับเนื้อยาง น้ำยางข้น

In this research, waste latex sludge, which is null by-product of concentrated latex manufacturing, was digested to retrieve the rubber by using sulfuric acid. It was found that the acid concentration affected on the recovery number and purity of retrieved rubber. High concentrated sulfuric acid (more than 10% by wt.) digested waste latex sludge and gave the rubber around 10% by wt. after mixed the waste sludge with sulfuric acid at the weight ratio 1:3. The quality of retrieved rubber, which was examined for Mooney viscosity (MV), plasticity retention index (PRI), nitrogen content, and ash contents, was found that closed to the STR20 quality. The residue solution was further analyzed and separated for inorganic substance such as high value phosphate fertilizer.

Keywords : rubber, latex sludge, acid digestion, rubber recovery, concentrated latex

1. บทนำ

จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นในระดับอุตสาหกรรมที่เริ่มจากการรับซื้อน้ำยางสดที่ต้องมีการเติมสารละลายแอมโมเนียเพื่อการรักษาสภาพน้ำยางสด โดยแอมโมเนียจะเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนที่ถูกดูดซับที่ผิวของอนุภาคยาง และยังเกิดปฏิกิริยาได้กับ Multivalent metal ions เช่น Mg^{2+} ทำให้ได้ Magnesium ammonium phosphate ซึ่งจะตกตะกอนแยกออกจากน้ำยางเรียกว่ากากจีแป็ง ส่งผลให้อนุภาคเม็ดยางมีความเสถียรและคงสภาพเป็นน้ำยางสดอยู่ได้ น้ำยางสดก่อนเข้าสู่เครื่องปั่นแยกจะมีการเติมสารเคมี Diammonium hydrogen phosphate (DAP) เพื่อทำการตกตะกอนกากจีแป็งโดยปริมาณที่เติมจะขึ้นอยู่กับปริมาณแมกนีเซียมที่หลงเหลืออยู่ในน้ำยางสด โดยทั่วไปโรงงานจะทำการเติม DAP อยู่ในช่วง 1.35-2.22 กิโลกรัมต่อตันน้ำยางข้น ทำให้ได้ตะกอนกากจีแป็งประมาณ 12 กิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) กระบวนการปั่นแยกน้ำยางข้นโดยเครื่องเซนติฟิวส์ยังพบการอุดตันของตะกอนกากจีแป็งที่เกิดขึ้นบริเวณจานแยก เป็นผลให้ต้องหยุดเครื่องเซนติฟิวส์เพื่อทำการล้างทุกๆ 2 ชั่วโมง หรือแม้แต่การเก็บน้ำยางข้นที่ต้องมีการรักษาสภาพโดยแอมโมเนียเพื่อรอการบรรจุและจัดจำหน่าย ยังพบตะกอนกากจีแป็งที่บริเวณก้นถัง ซึ่งตะกอนกากจีแป็งที่ได้จากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะถูกเก็บรวบรวมและลำเลียงไปกองทับถมไว้ภายในโรงงาน ส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่าเสีย ทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากเนื้อยางที่ปนไปกับตะกอนกากจีแป็ง และกากจีแป็งที่ปนเปื้อนสารเคมีต่างๆ ที่ใช้กับน้ำยางสดอาจทำให้เกิดผลเสียต่อสถานะแวดล้อมได้ทั้งในดินและแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียงได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะทำการศึกษาเพื่อแยกเนื้อเยื่อออกจากของเสียดกจีเป็ง เพื่อลดการสูญเสีย ทำให้ได้เนื้อเยื่อที่มีมูลค่าเพิ่ม โดยดกจีเป็งจะมียางเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 10-20% โดยน้ำหนัก และดกจีเป็งที่ผ่านการแยกเนื้อเยื่อออกแล้วสามารถถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไปได้

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 น้ํายางธรรมชาติ

น้ํายางธรรมชาติ (natural rubber latex) ที่ได้จากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นมีสภาพเป็นคอลลอยด์ (colloid) หรือสารแขวนลอย (dispersion) ซึ่งอนุภาคเม็ดยางจะกระจายกระจายแขวนลอยอยู่ในสารที่เป็นตัวกลาง (dispersion medium) โดยทั่วไปเรียกว่าซีรัม (serum) ขนาดของอนุภาคเม็ดยางอยู่ในช่วง 20-5000 นาโนเมตร ประมาณ 85% ของเม็ดยางโดยน้ำหนักมีขนาดเกิน 400 นาโนเมตร ในการทำน้ํายางข้นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่สามารถแยกออกชั้นซีรัม ขณะที่อนุภาคที่มีขนาดเล็กเกินไปจะแยกออกจากน้ํายางสดได้ยาก ทำให้อนุภาคเหล่านี้ปนไปกับหางน้ํายาง (skim latex)

สมบัติโดยทั่วไปของน้ํายางสดจะมีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มี pH ประมาณ 6.5-7.0 มีความหนืดประมาณ 12-15 centipoise มีส่วนประกอบดังนี้

ของแข็งทั้งหมด (Total solid content, TSC)	27-48%
เนื้อเยื่อแห้ง (Dry rubber content, DRC)	25-45%
สารพวกโปรตีน	1-1.5%
สารพวกเรซิน	1-2.5%
จีเถ้า	สูงถึง 1%
น้ำตาล	1%
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100%

น้ํายางสดเป็นสารที่ได้มาจากธรรมชาติดังนั้นส่วนประกอบจึงมีอยู่หลากหลาย จากความแตกต่างระหว่างปริมาณ TSC และ DRC ประมาณ 3% ส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีน ซึ่งครึ่งหนึ่งจะละลายอยู่ในน้ำ หนึ่งในสี่ส่วนอยู่บนผิวของอนุภาคยาง และอีกหนึ่งในสี่ส่วนจะอยู่ในลูทอยด์

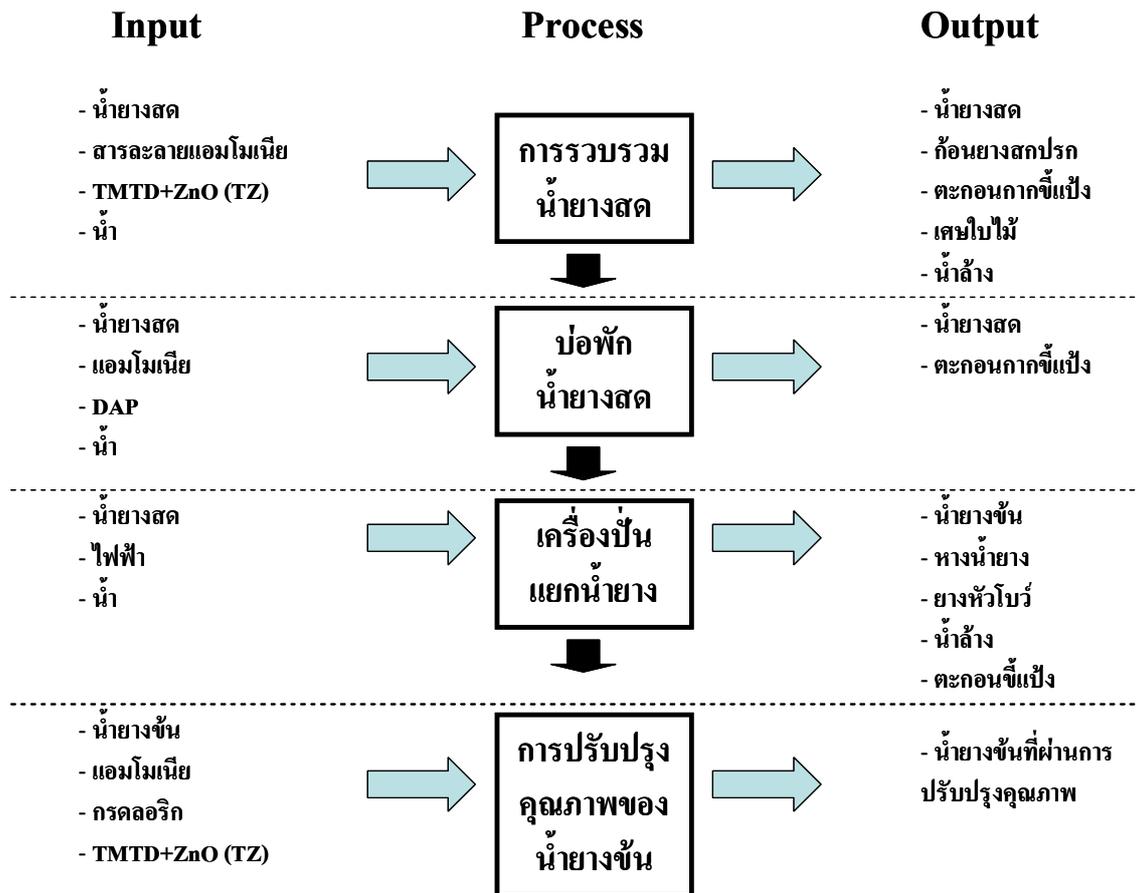
อาจกล่าวได้ว่าน้ำยางสดจะมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนของอนุภาคเม็ดยาง ซึ่งมีอยู่ประมาณ 35% โดยน้ำหนักของน้ำยาง
2. ส่วนที่เป็นน้ำ หรือซีรัม มีอยู่ประมาณ 55% โดยน้ำหนักของน้ำยาง มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิเมตร ประกอบด้วยสารชนิดต่าง เช่น
 - คาร์โบไฮเดรตที่เป็นสารพวกแป้งและน้ำตาลส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลในกลุ่ม Quebrachitol เช่น glucose sucrose และ fructose ซึ่งน้ำตาลเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียใช้เป็นอาหาร เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายตัวให้กรดโมเลกุลที่มีขนาดเล็กๆ (short chain fatty acid) ที่เป็นสาเหตุทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพและรวมตัวกันเป็นก้อน กรดเหล่านี้เป็นกรดที่ระเหยได้ง่าย จึงเรียกชื่อว่า VFA (volatile fatty acid)
 - โปรตีนและกรดอะมิโน ซึ่งโปรตีนจะมีอยู่หลากหลายชนิด โดยมี Isoelectric point ต่างกัน สำหรับโปรตีนที่มี Isoelectric point สูงสามารถสลายตัวให้ประจุบวกที่เป็นสาเหตุทำให้น้ำยางสูญเสียสภาพ
 - สารอื่นๆ เป็นสารที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนอิสระ ตัวอย่างเช่น โคลินและเมทิลเอมีน กรดอินทรีย์(ที่ไม่ใช่ชนิดกรดอะมิโน)อนุมูลลบข้ออินทรีย์สาร(โดยเฉพาะพวกโพแทสเซียม แมกนีเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดง)และยังประกอบด้วยไซยาไนด์ประมาณ 0.25% ซึ่งเป็ยพวกกรดไฮโดรไซยาไนด์อิสระ นอกจากนี้พบว่ามีย่อยหลายชนิดในน้ำยางสด ซึ่งน้ำย่อยเหล่านี้มีอยู่แต่เริ่มแรกภายในท่อน้ำยาง และไหลออกมาพร้อมกับน้ำยาง น้ำยางสดมีลักษณะเฉพาะเกี่ยวกับการที่สามารถเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ต่างๆ ไปเป็นไฮโดรคาร์บอน และน้ำย่อยก็เป็นตัวสำคัญในการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวข้างต้น
3. ส่วนของอนุภาคอื่นๆ เช่นลูทอยด์ และอนุภาคเฟรย์-วิสลิง เป็นส่วนที่เหลือของเกือบทั้งหมด ประมาณ 10% โดยน้ำหนักของน้ำยาง

2.2 น้ำยางข้น

น้ำยางสดจากต้นยางจะมีความเข้มข้นของเนื้อยางเพียง 30-40% เท่านั้น ดังนั้นมันจึงไม่เป็นการประหยัดที่จะทำการขนส่งน้ำยางสดที่ถูกรักษาสภาพไว้ไปในระยะทางที่ไกลๆ วิธีการโดยทั่วไปมักจะทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยการเอาน้ำออกเพื่อให้มีค่า DRC ประมาณ 60% เพื่อการประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นกระบวนการแปรรูปน้ำยางเป็นผลิตภัณฑ์จึงมีการปรับให้ใช้น้ำยางที่มีความเข้มข้นสูง (DRC ~ 60%) โดยตรง ตัวอย่างเช่นการทำยางฟองน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำยางข้นมีคุณภาพที่สม่ำเสมอยิ่งกว่าน้ำยางสด ไม่ว่าจะเป็นความเข้มข้นของน้ำยาง ปริมาณสารที่ไม่ใช่ยางในน้ำยาง เป็นผลให้กระบวนการทำงานในโรงงานทำได้ง่ายกว่าการใช้

งานน้ำยางสด กระบวนการนิยมใช้ในการผลิตน้ำยางข้นคือการปั่นแยกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ โดยการผ่านน้ำยางสดหลังจากกำจัดสิ่งสกปรกและลดปริมาณแมกนีเซียมโดยการเติม DAP และพักน้ำยางสดไว้เป็นระยะเวลานาน 12 ชั่วโมง ก่อนเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 6800 – 7600 rpm ทำให้ได้น้ำยางข้นที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางมากกว่า 60% โดยน้ำหนัก และหางน้ำยางที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางอยู่ในช่วง 3-6% โดยน้ำหนัก กระบวนการผลิตน้ำยางข้นดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้น

2.3 กากชี้แป็ง

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าตะกอนกากชี้แป็งได้จากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตน้ำยางข้น และมีปริมาณโดยเฉลี่ย 1500-2000 กิโลกรัมต่อวัน โรงงานผู้ผลิตน้ำยางข้นส่วนใหญ่จะทำการเก็บรวบรวมตะกอนกากชี้แป็งและนำไปกองทับถมในพื้นที่ว่างภายในบริเวณโรงงานทำให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็น และก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยมากมายได้รายงานถึงการนำกากชี้แป็งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน (วราศรี เถกประสิทธิ์, 2542) การผลิตปุ๋ยฟอสเฟตสำหรับการปลูกสร้างสวนยางจากกากชี้แป็งซึ่งเป็นวัสดุเหลือ

ทิ้งของโรงงานน้ำยางข้น เพื่อลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร และลดมลภาวะในสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำยางข้น แต่การนำของเสียกากจี้แป้งไปทำเป็นวัสดุบำรุงจะมีผลเสียต่อความพรุนตัวของดิน เนื่องจากยางที่เป็นองค์ประกอบจะก่อตัวเป็นชั้นฟิล์ม ทำให้ดินอัดรวมตัวกันแน่น และเกิดการปนเปื้อนของสารเคมีที่มีอยู่ในกากจี้แป้งต่อแหล่งน้ำจากการชะล้าง ส่งผลให้การนำกากจี้แป้งไปใช้ประโยชน์เป็นวัสดุบำรุงไม่เป็นที่แพร่หลาย

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของกากจี้แป้ง

ลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นของกากจี้แป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น พบว่ากากจี้แป้งสดมีลักษณะคล้ายโคลนตม สีขาวเทา บางครั้งมีสีเหลือง เนื้อละเอียด ดังภาพที่ 21 ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และซีลีเนียม กากจี้แป้งมีสภาพค่อนข้างเป็นกลาง โดยในกระบวนการผลิต น้ำยางข้นจะมีการเติมแอมโมเนียลงไปใต้น้ำยางสด หลังจากนั้นทำการปล่อย น้ำยางเข้าทางท่อรับน้ำยางส่วนบนสุดของตัวเครื่องปั่นแยกน้ำยาง เครื่องปั่นจะทำการปั่นแยกน้ำยางได้น้ำยางข้น หางน้ำยาง และกากจี้แป้ง ในขณะที่ทำการปั่นแอมโมเนียที่มีอยู่ในกากจี้แป้งมีน้อย เมื่อนำมาวัดค่า pH ในกากจี้แป้งจึงได้ค่าที่ค่อนข้างจะเป็นกลาง (ณัฐวุฒิ กลางถิ่น และดำรง สุขเกษม, 2552 อ้างถึงใน เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547)

แต่ค่า pH ของกากจี้แป้งจากโรงงานต่างๆ มีความแตกต่างกัน เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น วัตถุประสงค์ที่ใช้เป็นน้ำยางสด มีการรักษาด้วยแอมโมเนียและรวบรวมน้ำยางสดในช่วงเวลาต่างกัน จึงทำให้กากจี้แป้งในแต่ละโรงงานมีค่า pH แตกต่างกัน เช่น การเก็บตัวอย่างกากจี้แป้งมาตรวจวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง หลังการปั่นเหวี่ยงภายใน 48 ชั่วโมง จะมีค่า pH เป็นด่าง เนื่องจากการเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาน้ำยางก่อนนำมาปั่นเหวี่ยงเพื่อเตรียมเป็น น้ำยางข้น หากตรวจวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่เก็บหลังการปั่นเหวี่ยงมากกว่า 48 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด - ด่าง จะลดลงสู่ช่วงที่เป็นกลาง เนื่องจากการสูญหายไปของแอมโมเนีย (วิภาพรรณ อุบล, 2550)



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะเบื้องต้นของกากจี้แป้ง

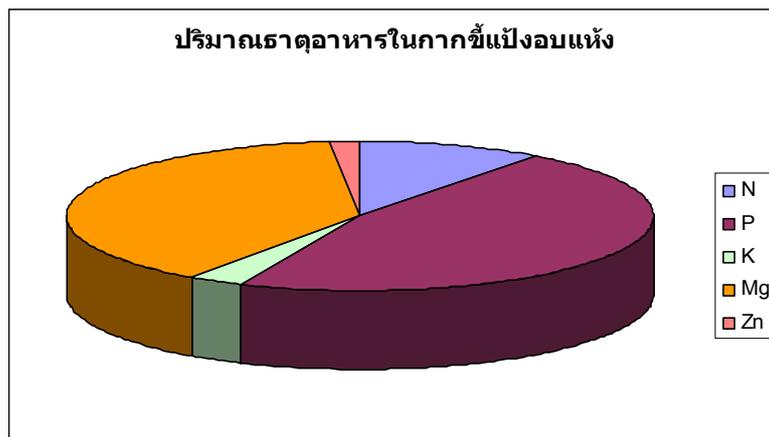
กากซีเป้งจะมีสิ่งเจือปนอื่นมากกว่านี้ยางสด ทำให้กากซีเป้งมีความหนาแน่นมากกว่า ซึ่งน้ำยางสดโดยทั่วไปมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.975 – 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร อนุภาคยางมีความหนาแน่น 0.92 กรัมต่อมิลลิลิตร (ณัฐวุฒิ กลางถิ่น และดำรง สุขเกษม, 2552 อ้างถึงใน เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2543) เมื่อนำน้ำยางสดมาทำการปั่นด้วยเครื่องเซนตริฟิวส์ด้วยความเร็ว 20,000 รอบต่อนาที จะสามารถแยกส่วนของอนุภาคยาง เซรัมและกากซีเป้งออกจากกันได้ ซึ่งความหนาแน่นของกากซีเป้งมีค่าประมาณ 1.16 – 1.63 กรัมต่อมิลลิลิตร เนื่องจากส่วนประกอบของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำยาง ได้แก่ เรซิน โลหะหนัก แป้ง โปรตีน ไขมัน และสารเคมีที่เติมลงไป ก่อนนำน้ำยางมาผลิตเป็นน้ำยางข้น เช่น การเติม NH_3 , TMTD และ ZnO เพื่อเก็บรักษาน้ำยาง และการเติม DAP ลงไปเพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียม ดังนั้นเมื่อทำการปั่นแยกน้ำยางด้วยเครื่องเซนตริฟิวส์ ส่วนประกอบของกากซีเป้งจะมีลักษณะเป็นโคลนตมสีเหลือง หรือสีขาวเทา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารพวกแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และซีลีไฟต์ ทำให้กากซีเป้งมีความหนาแน่นที่สูงกว่าน้ำยางประมาณ 18.97 – 66.33% (ณัฐวุฒิ กลางถิ่น และดำรง สุขเกษม, 2552)

2.3.2 องค์ประกอบของกากซีเป้ง

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของกากซีเป้งส่วนใหญ่จะประกอบด้วยฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากการเติม DAP (Diammonium phosphate) เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยาง โดย DAP จะทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมกลายเป็น Magnesium Ammonium Phosphate ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าประมาณ 58.05-62.96% โดยน้ำหนัก และปริมาณความชื้น 37.05-41.95% โดยน้ำหนัก (ณัฐวุฒิ กลางถิ่น และดำรง สุขเกษม, 2552) ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ส่วนใหญ่ในกากซีเป้งประกอบไปด้วยโลหะหนักที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิ 550 ± 50 องศาเซลเซียส ส่วนสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ที่มีอยู่ในกากซีเป้งจะเกิดการระเหยกลายเป็นแก๊สซึ่งส่วนนี้คือปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ กากซีเป้งมีปริมาณของแข็งคงอยู่มีค่าระหว่าง 24 - 28% โดยน้ำหนัก และของแข็งที่ระเหยได้มีค่าระหว่าง 72-76% โดยน้ำหนัก (ณัฐวุฒิ กลางถิ่น และดำรง สุขเกษม, 2552 อ้างถึงใน เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547)

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของกากซีเป้ง โดย วราศรี เอกประสิทธิ์ (2543) พบว่า กากซีเป้งมีอัตราการเกิดตลอดการผลิตประมาณ 1% ของน้ำยางสดที่ใช้ในการผลิต มีคุณสมบัติที่ประกอบไปด้วยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) ในรูป P_2O_5 โพแทสเซียม (K) ในรูป K_2O แมกนีเซียม (Mg) และสังกะสี (Zn) เฉลี่ยเท่ากับ 2.06, 19.6, 1.8, 5.31 และ 1.01% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และจากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของกากซีเป้ง โดย สมทิพย์ ด่านธีรวิรัชย์ (ม.ป.ป.) พบว่า กากซีเป้งแห้งมี ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) ในรูป P_2O_5 โพแทสเซียม (K) ในรูป K_2O แมกนีเซียม (Mg) และสังกะสี (Zn) เฉลี่ยเท่ากับ 2.31, 19.41, 1.51, 5.31 และ 1.05% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้เมื่อเทียบกับผลการศึกษากากซีเป้ง โดยวราศรี เอกประสิทธิ์ (2543) พบว่าอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อนำกากขี้เถ้ามาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24-48 ชั่วโมง เพื่อเอาน้ำ เชมุ่ม และแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในกากขี้เถ้าออก บดกากขี้เถ้าอบแห้งให้เป็นผงละเอียด จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีที่มีอยู่ในกากขี้เถ้าอบแห้ง ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสีและแคลเซียม ซึ่งพบว่ากากขี้เถ้าอบแห้งมีปริมาณธาตุอาหาร ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.3 แสดงแผนภูมิปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ของกากขี้เถ้าอบแห้ง (ที่มา : ธีรัฐวุฒิ กลางถิ่น และดำรง สุขเกษม, 2552 อ้างถึงใน เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547)

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณธาตุอาหารของกากขี้เถ้าอบแห้ง*

ธาตุอาหาร	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)
1. ไนโตรเจน (N)	3.07-3.65
2. ฟอสฟอรัส (P)	14.22-15.17
3. โพแทสเซียม (K)	0.79-1.20
4. โลหะหนัก	
4.1 แมกนีเซียม (Mg)	11.69-12.86
4.2 สังกะสี (Zn)	0.37-0.98
4.3 แคลเซียม (Ca)	0.01-0.06

*ที่มา : ธีรัฐวุฒิ กลางถิ่น และดำรง สุขเกษม, 2552 อ้างถึงใน เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547

ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen)

ปริมาณไนโตรเจนในกากจี้เป้งอบแห้งส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนของโปรตีนบนอนุภาคของยางที่สลายตัวออกมาและเป็นส่วนของผนังลูทอยด์ซึ่งเกาะบนอนุภาคยางแล้วทำให้อนุภาคยางเกิดการสูญเสียสภาพจับตัวเป็นก้อน เมื่อทำการเซนตริฟิวส์จึงรวมตัวอยู่ในส่วนของกากจี้เป้ง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนในกากจี้เป้ง สำหรับสารละลายแอมโมเนียที่เติมลงไปใต้น้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยางนั้น จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอในระหว่างการนำกากจี้เป้งไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะไม่เหลืออยู่ในกากจี้เป้ง จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่ากากจี้เป้งอบแห้งมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 3.07-3.65% โดยน้ำหนัก

ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ได้มาจากการเติม DAP (Diammonium phosphate) เพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางสดจากตารางที่ 2.1 พบว่ากากจี้เป้งจะมีธาตุฟอสฟอรัสประมาณ 14.22-15.17% โดยน้ำหนัก

ปริมาณโพแทสเซียม (Potassium)

ปริมาณโพแทสเซียมที่มีอยู่ในกากจี้เป้งคาดว่าได้จากอนุภาคยางและเซรุ่มที่เหลือจากการเซนตริฟิวส์ และจากแร่ธาตุที่ต้นยางพาราดูดซึมมาจากดิน ซึ่งจากตารางที่ 2.1 พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในกากจี้เป้งประมาณ 0.79-1.20% โดยน้ำหนัก

โลหะหนักอื่นๆ

น้ำยางสดจากสวนก่อนนำมาผลิตเป็นน้ำยางข้น จะมีการเติม DAP (Diammonium phosphate) ที่ใส่ลงไปใต้น้ำยางสด เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยาง โดย DAP (Diammonium phosphate) ทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ Magnesium ammonium phosphate สารนี้จะตกตะกอนหรือจะถูกแยกออกจากน้ำยาง โดยปริมาณแมกนีเซียมที่อยู่ในกากจี้เป้ง คาดว่าเป็นส่วนของตะกอนที่เหลืออยู่ในน้ำยางสดที่ทำการตกตะกอนแมกนีเซียมออกไปแล้ว เมื่อเซนตริฟิวส์ด้วยถังปั่น แมกนีเซียมที่เหลืออยู่ก็จะรวมอยู่ในส่วนของกากจี้เป้งจากตารางที่ 4 พบว่าในกากจี้เป้งมีธาตุแมกนีเซียมโดยเฉลี่ยประมาณ 11.69-12.86% โดยน้ำหนัก

นอกจากนี้กากจี้เป้งยังมีธาตุอื่นๆอีกได้แก่ สังกะสีและแคลเซียม มีค่าประมาณ 0.37-0.98 และ 0.01-0.06% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยปริมาณของสังกะสีได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีการเติมซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้เป็นสารกระตุ้นและเก็บรักษาน้ำยางจึงทำให้มีสังกะสีในกากจี้เป้ง และแคลเซียมได้จาก ลูทอยด์โดยในสภาพอากาศร้อนอุณหภูมิสูงขึ้น ลูทอยด์จะเกิดการแตกตัวทำให้องค์ที่อยู่ในลูทอยด์ซึ่งมีลักษณะเป็นสารแขวนลอยเกิดการไหลและปะปนรวมอยู่ในเซรุ่มเมื่อเซนตริฟิวส์สารแขวนลอยจะประกอบไปด้วยประจุบวกและไอออนของโลหะ เช่น แคลเซียมไอออน และแมกนีเซียมไอออน พวกโลหะหนัก

เหล่านี้ก็จะรวมอยู่ที่กันดังกลายเป็นกากซีเมนต์สามารถแยกออกมาได้ แต่ปริมาณของแคลเซียมที่พบในกากซีเมนต์มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าของธาตุตัวอื่นๆ

ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและโลหะหนักในกากซีเมนต์ที่ได้มีค่าแตกต่างกัน อาจเนื่องจากความแตกต่างในส่วนของการผลิต ปริมาณสารเคมี สารเคมีพวก DAP ซึ่งใส่ลงไปให้น้ำยางและบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง ทำให้ค่าที่ได้แตกต่างกัน (ณัฐวุฒิ กลางถิ่น และ ดำรง สุขเกษม, 2552 อ้างถึงใน เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547)

จากการศึกษาสารประกอบในกากซีเมนต์ โดยวราศรี เอกประสิทธิ์ (2543) ได้นำกากซีเมนต์มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X – Ray Fluorescence (XRF) พบว่ามีสารประกอบอื่นด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสารประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X – Ray Fluorescence (XRF)*

ชนิดของสาร	(% ความเข้มข้น)	
	กากซีเมนต์ รหัส 00192/41CA	กากซีเมนต์ รหัส 00192/41CB
Mg (ในรูป MgO)	8.974	12.871
Al (ในรูป Al ₂ O ₃)	0.074	0.029
Si (ในรูป SiO ₂)	0.369	0.089
P (ในรูป P ₂ O ₅)	14.224	18.259
S (ในรูป SO ₃)	0.182	0.091
K (ในรูป K ₂ O)	2.09	2.516
Ca (ในรูป CaO)	0.22	0.336
Ti (ในรูป TiO ₂)	0.021	-
Mn (ในรูป MnO ₂)	0.034	0.282
Fe (ในรูป Fe ₂ O ₃)	0.3	0.07
Zn (ในรูป ZnO)	1.335	0.573
Rb (ในรูป Rb)	0.064	0.052
Ni (ในรูป NiO)	-	0.01
Cu (ในรูป CuO)	-	0

*ที่มา : วราศรี เอกประสิทธิ์, 2543.

จากตารางหากพิจารณาสารประกอบที่วิเคราะห์ได้ พบว่า มีปริมาณของ Mg ในรูป MgO สูงที่สุด รองลงมาเป็น P ในรูป P₂O₅, K ในรูป K₂O และ Zn ในรูป ZnO

ในส่วนของการวิเคราะห์หาส่วนประกอบของธาตุต่างๆ โดยใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) โดย สมทิพย์ ด่านธีรวณิชย์ (ม.ป.ป.) พบว่า นอกจากกากจี้แป้งจะประกอบไปด้วย P K Mg และ Zn ในค่าเฉลี่ยร้อยละ 23.27 13.22 15.59 และ 0.79 ตามลำดับ และยังประกอบไปด้วยธาตุ Al Si S Ca และ Rb ด้วยค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.35 0.61 0.85 1.88 และ 0.26 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบธาตุอื่นๆ เล็กน้อย ได้แก่ Fe Ni Mn Cu Pb Cr Ti โดยธาตุที่พบอยู่ในรูปสารประกอบของ MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, SO₃, K₂O, CaO, MnO₂, Fe₂O₃, NiO และ CuO จากข้อมูลสะท้อนให้เห็นว่ากากจี้แป้งมีสารโลหะหลายชนิด ดังนั้นการนำกากจี้แป้งไปใช้ประโยชน์ อาจต้องพิจารณาผลกระทบจากสารโลหะดังกล่าวที่อาจปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้ และควรมีการศึกษาวิจัยในส่วนของปริมาณความเข้มข้นของสารโลหะในกากจี้แป้งเพื่อใช้ประโยชน์ในการจัดการของเสียนี้ได้อย่างปลอดภัยได้ต่อไป

2.3.3 ลักษณะทางชีวภาพของกากจี้แป้ง

นอกจากนี้ กากจี้แป้งยังมีสภาพไม่คงตัว สามารถถูกชะล้างหรือละลายได้ง่าย เมื่อนำกากจี้แป้งมาสกัดด้วยน้ำกลั่น พบว่า โพแทสเซียม (K) ออกมาจะละลายมากที่สุด อยู่ในช่วง 69 – 88% และ ไนโตรเจน (N) มีความสามารถในการละลายออกในช่วง 11 – 12% สำหรับ ฟอสฟอรัส (P) แมกนีเซียม (Mg) และสังกะสี (Zn) สามารถถูกชะล้างหรือละลายได้ในช่วง 1% หรือต่ำกว่าเท่านั้น สำหรับค่า BOD และ COD ของส่วนของเหลวที่สกัดได้ พบว่า มีค่าสัดส่วนของ BOD ต่อ COD มากกว่า 0.5 กากจี้แป้งเมื่อละลายน้ำแล้ว จะทำให้น้ำสกัดนั้นมีคุณสมบัติที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ (วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543) นอกจากนี้หากตั้งทิ้งกากจี้แป้งไว้ในภาวะที่มีความชื้นในช่วง 50 – 60% สารต่างๆ ในกากจี้แป้งสามารถย่อยสลายได้ โดยเฉพาะสารอินทรีย์ภายในกากจี้แป้ง โดยจากการทดลองของสมทิพย์ ด่านธีรวณิชย์ ซึ่งทำการทดลองโดยการตั้งทิ้งกากจี้แป้งไว้ในสภาวะที่มีความชื้น 50 – 60% พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของ pH, VS, ash, N, P และ K ในกองกากจี้แป้งเมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลา 30 วัน โดยค่า VS ในกองกากจี้แป้งลดลงจาก 60% เป็น 40% (ลดลง 27%) ซึ่งลดลงอย่างรวดเร็วในระหว่างวันที่ 0 – 5 ในทางตรงกันข้าม ค่า ash มีค่าสูงขึ้น ส่วนค่า pH จะมีค่าลดลงจากค่าความเป็นด่างเข้าสู่ความเป็นกลางมากขึ้น และสำหรับค่า N, P และ K มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย

2.3.4 แนวทางการจัดการกากจี้แป้ง

ปัจจุบันระบบการจัดการกากจี้แป้งในโรงงานไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ส่วนใหญ่พบว่ามีการนำไปเทกองโดยรอบโรงงาน นำไปฝังกลบ ทำคั้นดิน ถมที่ รวมไปถึงการเผาทำลาย เนื่องจากประสบปัญหาในเรื่องของการขนย้ายออกไปกำจัดภายนอกโรงงาน มีสาเหตุมาจากการที่ยังไม่สามารถระบุชนิดของกากจี้แป้งได้ว่าเป็นของเสียอันตรายหรือของเสียไม่อันตราย ประกอบกับไม่มีสถานที่เฉพาะที่ใช้สำหรับการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม

แม้ว่าในปัจจุบันจะมีแนวทางการจัดการกากจี้เป้ียง โดยภายใต้การควบคุมดูแลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม แต่ก็ยังไม่ประสบผลสำเร็จมากนัก เนื่องจากมีความไม่ชัดเจนในเรื่องของลักษณะและคุณสมบัติของกากจี้เป้ียง ที่ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าเป็นของเสียอันตรายหรือของเสียไม่อันตรายดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการตรวจวิเคราะห์เพื่อสรุปให้ได้ว่ากากจี้เป้ียงเป็นของเสียอันตรายหรือไม่ แต่เมื่อยังตรวจพิสูจน์ไม่ได้ จึงต้องใช้แนวทางการจัดการกากจี้เป้ียงตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไปก่อน ซึ่งแนวทางการจัดการ แสดงให้เห็นถึงความไม่สอดคล้องกันของข้อกำหนดอีกด้วย

จากข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้จัดทำคู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมรายสาขา เพื่อป้องกันการก่อมลพิษสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดความปลอดภัย ป้องกันและลดอุบัติเหตุ อุบัติภัยจากการทำงาน ในเรื่องอุตสาหกรรมยางพารา โดยได้จัดให้มีการทำคู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมยางพารา ซึ่งได้กล่าวถึงเรื่องของมลพิษ ของเสียต่างๆ และการจัดการสิ่งแวดล้อมขึ้น โดยได้จัดกลุ่มของมลพิษออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- 1.มลพิษทางน้ำ
- 2.มลพิษทางอากาศ
- 3.สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุไม่ใช่แล้ว

ในส่วนของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุไม่ใช่แล้วจากอุตสาหกรรมยางพารา ได้กล่าวถึงอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น โดยได้ระบุว่า สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุไม่ใช่แล้วจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น คือ กากจี้เป้ียง (อุตสาหกรรมยางพารา, ม.ป.ป.)

ในการนี้จะขอกกล่าวถึงสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุไม่ใช่แล้วที่เป็นกากจี้เป้ียงเท่านั้น ซึ่งมีการระบุข้อมูลไว้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลกากจี้เป้ียงจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น*

มลพิษและของเสีย	จุดที่เกิด	ลักษณะ	ปริมาณ	อัตราการ	การ	การแก้ไขที่ต้นทาง
				เกิดต่อต้นการผลิต	บำบัด/กำจัด	
3. สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุไม่ใช่แล้ว	3.1 บ่อรับน้ำยางสด	จี้เป้ียง	320 กก.	5.2 กก.	นำไปฝังกลบ	แยกจี้เป้ียงออกจากน้ำล้างก่อน
	3.2 เครื่องปั่นแยก				2.4 กก.	อย่างถูกหลัก
	3.3 สลัดจ์จากระบบบำบัด	กลิ่นเหม็น			วิชาการ	

*ที่มา : อุตสาหกรรมยางพารา, ม.ป.ป.

จากตารางที่ 2.3 พบว่า กากชีเป้่งเกิดจากพื้นที่ 2 ส่วน คือ

1. จากบ่อร์รับน้ำยางสด ในส่วนนี้จะเกิดกากชีเป้่งจากการเติมสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางและการเติมสารเคมีเพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมก่อนกระบวนการปั่นแยก จึงทำให้เกิดกากชีเป้่ง

2. เครื่องปั่นแยก ในกระบวนการปั่นน้ำยางข้นจะทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำยางและแข็งที่ไม่ใช่ยาง ซึ่งของแข็งนี้จะถูกเหวี่ยงเข้าไปในหัวเครื่องและชั้นจานของเครื่องปั่น ทำให้เกิดการอุดตันของหัวเครื่อง ซึ่งก็คือ กากชีเป้่ง นั่นเอง

นอกจากนี้ยังมีบริเวณการเกิดการชีเป้่งอีก 1 บริเวณ ที่ตกสำรวจ คือ บ่อดกตะกอนหางน้ำยาง ก่อนนำหางน้ำยางไปผลิตเป็นยางสกิม

กากชีเป้่งได้ถูกจัดให้เป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุไม่ใช้แล้วตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 โดยจะต้องกำจัดและบำบัดด้วยวิธีการที่กฎหมายกำหนด ซึ่งแนวทางในการจัดการ สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วสำหรับโรงงานผลิตยางพารา ไว้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แนวทางการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว*

ชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว		การจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว	
รหัส	ชื่อ	รหัส	ชื่อ
16 05 09	กากชีเป้่ง	071	ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill)
19 12 04	เศษยาง	011	คัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ (Sorting)
19 12 12	เศษดิน เปลือกไม้	071	ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill)
19 08 14	สลัดจ์จากระบบบำบัด	071	ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill)
10 01 01	ชี้่เถ้าจากเชื้อเพลิง	071	ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill)

*ที่มา : อุตสาหกรรมยางพารา, ม.ป.ป.

จากตารางที่ 2.4 ได้มีการกำหนดรหัสของชนิด และประเภทของสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว รวมไปถึงหลักเกณฑ์และวิธีการในการจัดการสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว โดยมีระบุไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548 ซึ่งมีการให้นิยามคำศัพท์ และความหมายของรหัสไว้ ดังต่อไปนี้

สิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว หมายความว่า สิ่งของที่ไม่ใช่แล้วหรือของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการประกอบกิจการโรงงาน รวมถึงของเสียจากวัตถุดิบ ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ของเสียที่เป็นผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ และน้ำทิ้งที่มีองค์ประกอบหรือมีคุณลักษณะที่เป็นอันตราย

การจัดการสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว หมายความว่า การบำบัด ทำลายฤทธิ์ทิ้ง กำจัด จำหน่ายจ่ายแจก แลกเปลี่ยน หรือการนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่รูปแบบต่างๆ รวมถึงการกักเก็บไว้เพื่อทำการดังกล่าว

รหัสของชนิดและประเภทของสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว แบ่งออกเป็น 19 หมวดหมู่ และมีการกำหนดรหัสเฉพาะของสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว โดยรหัส 6 หลัก โดยกากซีเมนต์มีรหัส 16 05 09 ซึ่งมีความหมายดังนี้

เลข 2 หลักแรกแสดงถึงประเภทของการประกอบกิจการ หรือชนิดของสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ซึ่งในส่วนของกากซีเมนต์นี้ ถูกจัดในหมวดที่ 16 (16 05 09) หมายถึงสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทต่างๆ ที่ไม่ได้ระบุในหมวดอื่น

เลข 2 หลักกลาง แสดงถึงกระบวนการเฉพาะในการประกอบกิจการนั้น ๆ ที่ทำให้เกิดสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว หรือเป็นชนิดของสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ซึ่งในส่วนของกากซีเมนต์นี้ ถูกจัดในกลุ่ม 16 05 (16 05 09) หมายถึง ก๊าซในภาชนะบรรจุที่ทนต่อความดันและสารเคมีที่ไม่ได้ใช้งานแล้ว

เลข 2 หลักสุดท้าย แสดงถึงลักษณะเฉพาะของสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น ซึ่งในส่วนของกากซีเมนต์นี้ ถูกจัดในกลุ่ม 16 05 09 (16 05 09) หมายถึง สารเคมีซึ่งไม่ใช้งานแล้วที่ไม่ใช่ 16 05 06 (HM), 16 05 07 (HM) และ 16 05 08 (HM) (ซึ่งก็คือสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ ที่มีสารอันตราย รวมทั้งส่วนผสมของสารเคมีดังกล่าว สารเคมีจำพวกสารอินทรีย์ที่มีอันตราย ซึ่งไม่ใช้งานแล้ว และสารเคมีจำพวกสารอินทรีย์ที่มีอันตราย ซึ่งไม่ใช้งานแล้ว ตามลำดับ) (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

ซึ่งจากความหมายของรหัส ทำให้ทราบว่า การจัดหมวดหมู่และรหัสของกากซีเมนต์ยังไม่ถูกต้องนัก เนื่องจาก พบว่า ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น มีการใช้สารเคมีหลายชนิด เช่น NH_3 , TMTD, ZnO และ DAP และสารเหล่านี้เป็นสารอันตรายตามที่กฎหมายกำหนด โดยปรากฏอยู่ในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) พ.ศ. 2520 ประกาศ

กระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสารเคมี พ.ศ. 2534 รวมไปถึงประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องบัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2546 เป็นต้น

ดังนั้นจึงทำให้เกิดข้อสงสัยว่า กากซีเมนต์ แท้จริงแล้วเป็นของเสียไม่อันตราย หรือของเสียอันตรายกันแน่ ซึ่งหากพิจารณาจากสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นดั่งที่กล่าวข้างต้น กากซีเมนต์นั้นจะกลายเป็นของเสียอันตราย เนื่องจากมีการปนเปื้อนของสารเคมีอันตราย แต่หากพิจารณาว่ากากซีเมนต์เป็นของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 กากซีเมนต์จะเป็นของเสียที่ไม่อันตราย แต่ในขณะนี้อย่างไม่สามารถหาข้อสรุป และระบุชนิดของกากซีเมนต์ได้อย่างชัดเจน ดังนั้นการที่ไม่สามารถระบุชนิดได้เช่นนี้ จะมีผลต่อวิธีการบำบัดและกำจัดกากซีเมนต์ รวมไปถึงการนำไปใช้ประโยชน์อีกด้วย

โดยในปัจจุบันกฎหมายกำหนดให้ใช้วิธีการกำจัดกากซีเมนต์ด้วยวิธีการฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) โดยมีรหัสเลขที่กำหนดตามหลักเกณฑ์และวิธีการในการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว เป็นรหัส 071 โดยมีความหมายดังนี้

รหัสเลข 3 หลักที่กำหนดสำหรับการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (Treatment and Disposal codes) ในการแจ้งรายละเอียดเกี่ยวกับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามแบบ สก. 3 และในการขออนุญาตนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงานแบ่งออกเป็น 8 ประเภท ในส่วนของกากซีเมนต์เป็นประเภท 07 คือ การกำจัด (Disposal) ใช้รหัส 3 หลัก คือ 071 หมายถึง ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) เฉพาะสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตรายเท่านั้น (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

โดยคู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมยางพารา แนะนำให้มีการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมในโรงงานยางพารา*

มลพิษและของเสีย	จุดที่เกิด	ระบบบำบัด/การจัดการที่เหมาะสม
อุตสาหกรรมน้ำยางชั้น		
3. สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว	บ่อรับน้ำยางสด	นำไปฝังกลบอย่างถูกหลักวิชาการ
	เครื่องปั่นแยก	
	บ่อบำบัดน้ำเสีย	

*ที่มา : อุตสาหกรรมยางพารา, ม.ป.ป.

ดังนั้นวิธีการฝังกลบตามหลักวิชาการจึงถูกนำไปใช้ในการกำจัดกากซีเมนต์ภายในโรงงาน แต่ในการฝังกลบก็ไม่ได้ถูกต้องตามหลักวิชาการมากนัก โดยมากเป็นการถมหรือเทกอง

ทิ้งไว้ภายในโรงงานมากกว่า เนื่องจากไม่มีแหล่งฝังกลับที่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลในการฝังกลบกากซีเป็งโดยเฉพาะ นอกจากนี้หากจัดการกากซีเป็งไม่ครบทุกบริเวณก็อาจจะตกค้างภายในโรงงานอีกด้วย

ประกอบกับตามกฎหมายระบุว่า ห้ามมิให้นำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือผู้ซึ่งอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมายให้นำออกไปเพื่อการจัดการด้วยวิธีการและสถานที่ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในภาคผนวกที่ 4 ท้ายประกาศ กรณีที่ทำการบำบัดหรือกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วภายในบริเวณโรงงาน ต้องปฏิบัติตามหมวด 4 ข้อ 17 และข้อ 21 ถึงข้อ 24 ด้วย และหากไม่นำส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน จะต้องไม่ครอบครอง สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วไว้ภายในโรงงานเกินระยะเวลา 90 วัน หากเกินกว่าระยะเวลาที่กำหนดไว้นี้ ต้องขออนุญาตต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามแบบ สก. 1 ท้ายประกาศ ในกรณีที่ครอบครองของเสียอันตรายให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง ระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย พ.ศ. 2547 (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

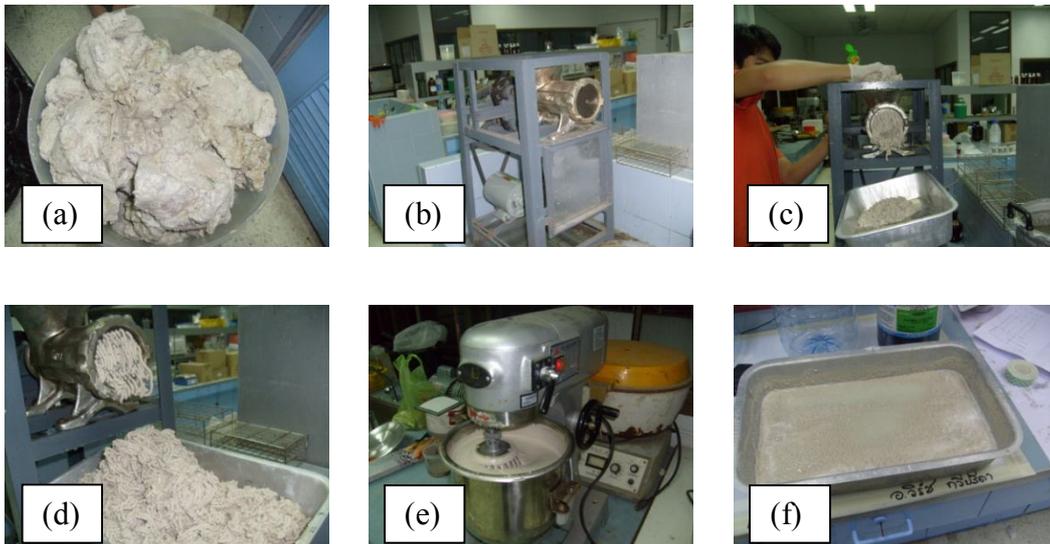
จากประเด็นปัญหาเรื่องข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ได้ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการจัดการกากซีเป็งของโรงงาน ทำให้ทางโรงงานต้องหาทางออกโดยการนำกากซีเป็งไปใช้ประโยชน์ เช่น ทำคันดิน ถมพื้นที่ลุ่ม ถมถนน หรือกองทิ้งไว้ ฯลฯ และต่อมาได้มีความพยายามในการนำกากซีเป็งไปค้นคว้าวิจัยเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น ซึ่งในการนำกากซีเป็งไปใช้ประโยชน์ยังเกิดประเด็นคำถามตามมา ในเรื่องสารพิษตกค้างในกากซีเป็ง และในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังไม่พบการวิจัยในประเด็นของสารพิษในกากซีเป็ง หรือมีรายงานในเรื่องนี้แต่อย่างใด ส่งผลให้การนำกากซีเป็งไปใช้ประโยชน์นั้น ไม่ประสบผลสำเร็จในการนำไปใช้งานจริงเท่าที่ควร ซึ่งการจัดการที่กล่าวมาข้างต้นยังไม่สามารถกำจัดกากซีเป็งให้น้อยลงได้

3. ระเบียบวิธีดำเนินการ

3.1 การศึกษาองค์ประกอบของกากจีแป็ง

- นำตัวอย่างกากจีแป็งไปวิเคราะห์หาค่าความชื้นโดยใช้เครื่องวัด Moisture และวิเคราะห์หาค่าของแข็งทั้งหมด (TSC) โดยการบีบอัดตัวอย่างให้เป็นแผ่นบาง ทำการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนได้ค่าน้ำหนักที่คงที่
- นำตัวอย่างกากจีแป็งมาทำการบด และอัดรีด ดังแสดงในรูปที่ 3.1b – 3.1d และนำตัวอย่างที่ได้ไปทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบโดยใช้เทคนิค TGA

3.2 การศึกษาสมบัติของยางที่มีอยู่ในกากจีแป็ง



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการบดอัดรีดเพื่อแยกเนื้อยางออกจากกากจีแป็ง

- บดกากจีแป็งที่ได้เก็บได้จากโรงงานด้วยเครื่องรีด ดังแสดงในรูปที่ 3.1b และนำไปปั่นโดยผสมน้ำที่สัดส่วน 1:2 จนกากจีแป็งเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ
- ตั้งของเหลวผสมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จนเกิดการแยกชั้น
- แยกส่วนของของเหลวด้านบนซึ่งมีสีขาวคล้ายน้ำมันมาเติมสารละลายกรดฟอร์มิกเพื่อให้เนื้อจับตัว
- นำเนื้อยางที่ได้ไปรีดเป็นแผ่นบาง และอบจนแห้ง
- ศึกษาองค์ประกอบในยางโดยใช้เทคนิค TGA และน้ำหนักโมเลกุลโดยใช้เทคนิค GPC

3.3 การศึกษากระบวนการแยกเนื้อเยื่อออกจากกากขี้เป้งโดยใช้กรดซัลฟูริก

- แบ่งตัวอย่างกากขี้เป้งที่ผ่านการบดแล้ว น้ำหนัก 300 กรัม ใส่ในภาชนะ และเติมกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นต่างๆ และปริมาณต่างๆ ดังสรุปในตารางที่ 3.1
- กรองแยกของแข็งออกจากส่วนที่เป็นของเหลว
- ล้างส่วนที่เป็นของแข็งด้วยน้ำ ก่อนรีดให้เป็นแผ่นบาง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักของแข็งที่ได้
- นำส่วนที่เป็นของเหลว ไปแยกสารอนินทรีย์โดยการตกผลึก และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (10% โดยน้ำหนัก)

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณของสารที่ใช้ในการย่อยด้วยกรดซัลฟูริก

Code	Concentration (% by wt.)	Weight of Sludge (g)	Weight of Acid (g)
40-100	40	300	100
40-200	40	300	200
40-300	40	300	300
30-100	30	300	100
30-200	30	300	200
30-300	30	300	300
30-500	30	300	500
20-200	20	300	200
20-300	20	300	300
20-400	20	300	400
20-500	20	300	500
20-600	20	300	600
20-700	20	300	700
20-1000	20	300	1000
10-600	10	300	600
10-800	10	300	800
10-1000	10	300	1000

3.4 การศึกษาสมบัติยางที่แยกออกจากกากขี้เถ้า

3.4.1 การทดสอบหาปริมาณสิ่งสกปรก (Dirt Content)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1278-91a มีวิธีการทดสอบดังนี้ นำยาง 15 กรัม มาผ่านเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งที่มีระยะห่างระหว่างเท่ากับ 0.013 นิ้ว จำนวน 2 ครั้ง แล้วนำไปตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนได้ 10 กรัม และมีความละเอียด 0.0001 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำมันสนปริมาตร 250 มิลลิลิตร และสารเร่งการละลายยาง (Peptor) 1 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่ 140 °C ยกขวดมาแกว่งเป็นระยะเพื่อเร่งการละลาย เมื่อยางละลายหมด เทสารที่ได้ผ่านตะแกรงกรองที่สะอาดและแห้ง และทราบน้ำหนักที่แน่นอน ล้างสารที่ได้ด้วย น้ำมันสนที่ร้อนอีกครั้ง นำตะแกรงกรองไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน โถแก้วดูความชื้นและบันทึกน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณสิ่งสกปรก (\%)} = [(C-B)/A] \times 100$$

เมื่อ	A	คือ น้ำหนักยาง, กรัม
	B	คือ น้ำหนักตัวกรอง, กรัม
	C	คือ น้ำหนักตัวกรองหลังอบ, กรัม

3.4.2 การทดสอบหาปริมาณเถ้า (Ash Content)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1278-91a มีวิธีการทดสอบดังนี้ ชั่งยางประมาณ 10 กรัม และมีความละเอียด 0.0001 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ในถ้วยทนความร้อนที่สะอาดแห้ง และทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำเข้าในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550±20 °C จนกระทั่งการเผาไหม้สมบูรณ์ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน โถแก้วดูความชื้นและบันทึกน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = [(C-B)/A] \times 100$$

เมื่อ	A	คือ น้ำหนักยาง, กรัม
	B	คือ น้ำหนักถ้วยทนความร้อน, กรัม
	C	คือ น้ำหนักถ้วยทนความร้อนกับเถ้าหลังอบ, กรัม

3.4.3 การทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen Content)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3533-90 มีวิธีการทดสอบดังนี้ ชั่งยางประมาณ 0.1 กรัม (ความละเอียด 0.0001 กรัม) ใส่ในขวดแก้วสำหรับย่อยยาง เติมสารตัวเร่งร่วมประมาณ 3 กรัม และกรดกำมะถัน 10 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 380-400 °C จนได้สารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร นำสารที่ได้ไปเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % โดยน้ำหนัก ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วกลั่นด้วยเครื่องกลั่น ส่วนที่รองรับสารที่กลั่นได้ประกอบด้วย สารละลายกรดบอริก 4% ปริมาตร 20 มิลลิลิตร อินดิเคเตอร์ 4 หยด และน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เมื่อสารที่กลั่นได้มีปริมาตร 150 มิลลิลิตร นำไปไตเตรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 นอร์มอล ที่จุดยุติสารจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง ทำ blank เพื่อเปรียบเทียบ

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 0.014}{W} \times 100$$

เมื่อ	V_1	คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้, มิลลิลิตร
	V_2	คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต blank, มิลลิลิตร
	N	คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก, นอร์มอล
	W	คือ น้ำหนักยาง, กรัม

3.4.4 ศึกษาการแปรรูปยางที่แยกออกจากกากซีแพ็ง

นำยางที่แยกได้ออกจากกากซีแพ็งมาผสมกับสารเคมีด้วยเครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง โดยใช้สูตรยางตามตารางที่ 3.2 โดยมีลำดับการผสมสารเคมีตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 สูตรยางธรรมชาติตามมาตรฐาน ASTM D3184-89

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (ส่วนโดยน้ำหนัก)
ยางธรรมชาติ	100.00
Zinc oxide	6.00
Sulphur	3.50
Stearic acid	0.50
MBT	0.50

ตารางที่ 3.3 ลำดับการผสมสารเคมี

ขั้นที่	ส่วนผสม	เวลา (นาที)
1	ตรวจสอบอุณหภูมิลูกกลิ้งให้ได้ 70 ± 5 °C	1
2	ตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.50 มม. นำยางเข้าบดโดยไม่ให้พื้นลูกกลิ้ง 2 ครั้ง	4
3	ตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 1.40 มม. นำยางเข้าบดโดยให้พื้นลูกกลิ้งหน้า เมื่อยางถูกบดนิ่มและเริ่มเรียบให้ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเป็น 1.90 มม. เติมกรดสเตียริก	2
4	เติมซิงค์ออกไซด์ กำมะถัน และเอ็มบีที	4
5	ตัดยางระยะ $\frac{3}{4}$ ของยางจากแต่ละด้านโดยสลับด้านซ้ายขวา ด้านละ 3 ครั้ง	2
6	ตัดยางผสมสารเคมีออกจากลูกกลิ้ง ตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเป็น 0.80 มม. นำยางผ่านลูกกลิ้งจำนวน 6 ครั้ง ยางที่ผ่านมาแต่ละครั้งม้วนเป็นรูปทรงกระบอก ใส่ปลายข้างหนึ่งเข้าเครื่องในการบดครั้งต่อไป ส่วนครั้งที่ 6 รีดออกมาเป็นแผ่นให้มีความหนาไม่น้อยกว่า 6 มม.	2
รวมเวลา		15

3.4.5 การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR)

ตามมาตรฐาน ASTM D2084-01 มีวิธีการทดสอบดังนี้ นำยางคอมปาวด์ที่ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสประมาณ 4.5 กรัม แล้ววางบนโรเตอร์ที่ผ่านการตั้งอุณหภูมิที่ 160 °C แล้วเปิดเครื่องให้ทำงาน โรเตอร์จะหมุนท่ามุม 1 องศา หลังจากครบเวลาที่ตั้งไว้ เครื่องบันทึกค่าระยะที่ขยับเกิดการแข็งตัว (Scorch time, t_{s1}) เวลาเป็นนาฬิกาจากจุดเริ่มต้นที่ทำให้แรงบิดสูงขึ้น 1 lbf.in, ระยะที่ยางสุก (Cure time, TC_{90}) เวลาเป็นนาฬิกาของค่าแรงบิด 90% ของแรงบิดสูงสุด, แรงบิดสูงสุด (Maximum torque, M_H) และแรงบิดต่ำสุด (Minimum torque, M_L) โดยสูตรที่ใช้ในการทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ ดังตารางที่ 3.2

3.4.6 การเตรียมชิ้นทดสอบโดยใช้กระบวนการอัด (Compression Molding)

นำยางผสมสารเคมีมาทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัด โดยใช้เบ้าพิมพ์ขนาด 12×12 เซนติเมตร หนา 1.5 เซนติเมตร ทำการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 °C วางขึ้นตัวอย่างทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบสมบัติต่อไป

3.4.7 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

นำชิ้นตัวอย่างที่ได้มาเตรียมชิ้นตัวอย่างรูปดัมเบล หลังจากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM D412 ซึ่งใช้เครื่องตัดชิ้นตัวอย่างแบบ Die C ขนาดความยาว 115 มิลลิเมตร กว้าง 6 ± 0.4 มิลลิเมตร หนาไม่ต่ำกว่า 1.5 มิลลิเมตร และไม่เกิน 3 มิลลิเมตร วัดความหนาของชิ้นตัวอย่าง 3 ตำแหน่ง หาค่าเฉลี่ยของความหนาที่วัดได้ และวัดความกว้างในช่วงความกว้างนี้ นำชิ้นทดสอบใส่ระหว่างที่จับ ดึงด้วยความเร็ว 500 มม./นาที โดยทดสอบสมบัติต่อไปนี้

1. ความทนต่อแรงดึง (tensile strength)

$$\text{Tensile strength} = F/A$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ในการดึงจนชิ้นทดสอบขาด (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ (ตารางมิลลิเมตร)

2. ระยะยืด ณ จุดขาด (elongation at break)

$$\text{Elongation at break (\%)} = 100 \times (L-L_0)/L_0$$

เมื่อ L คือ ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนชิ้นทดสอบเมื่อยืดจนขาด (เซนติเมตร)

L_0 คือ ระยะห่างระหว่างเส้นเริ่มต้นก่อนทำการทดสอบ (เซนติเมตร)

4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 องค์ประกอบของกากชี้แป้ง

ตะกอนชี้แป้งจากเครื่องเซนตริฟิวจ์ ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อน จะมีกลิ่นเหม็น และไม่มีค่า จนโรงงานผู้ผลิตน้ำยางขั้นต้องนำไปกำจัดทิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.1

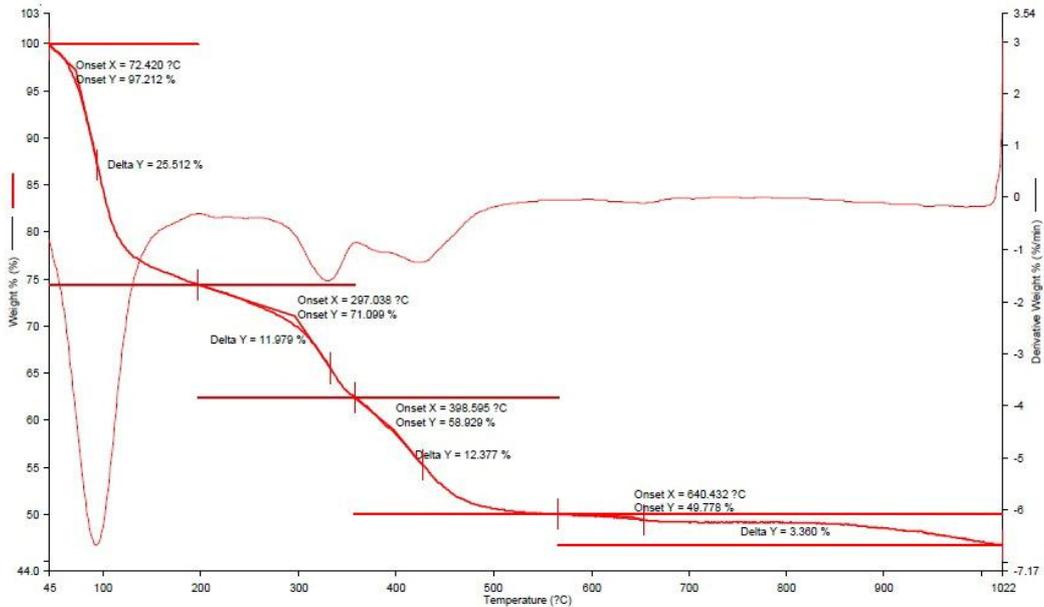


รูปที่ 4.1 Waste sludge from latex industry

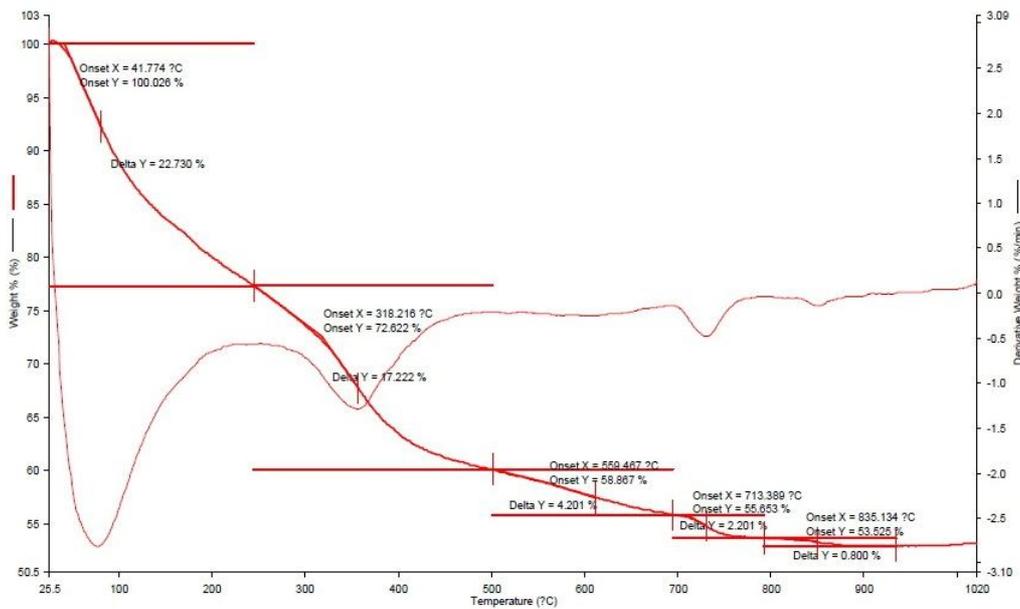
เมื่อนำกากชี้แป้งมาวิเคราะห์สมบัติโดยทั่วไป ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่ากากชี้แป้งเปียกจะมีเนื้อเยื่อเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่า 40% โดยน้ำหนัก ซึ่งยืนยันโดยผลจากการศึกษาองค์ประกอบด้วยเทคนิค TGA ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และเมื่อนำกากชี้แป้งไปผ่านการบดอัด เพื่อรีดเป็นแผ่นบาง และอบแห้งได้กราฟแสดงองค์ประกอบที่เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติของตะกอนกากชี้แป้ง

Parameters	Sediment waste sludge	Waste sludge from centrifugation
Moisture content (% by wt.)	25.3	29.1
Total solid content (% by wt.)	72.1	68.3
Rubber content (% by wt.)	47.3	49.2
Density (g/mL)	1.62	1.55

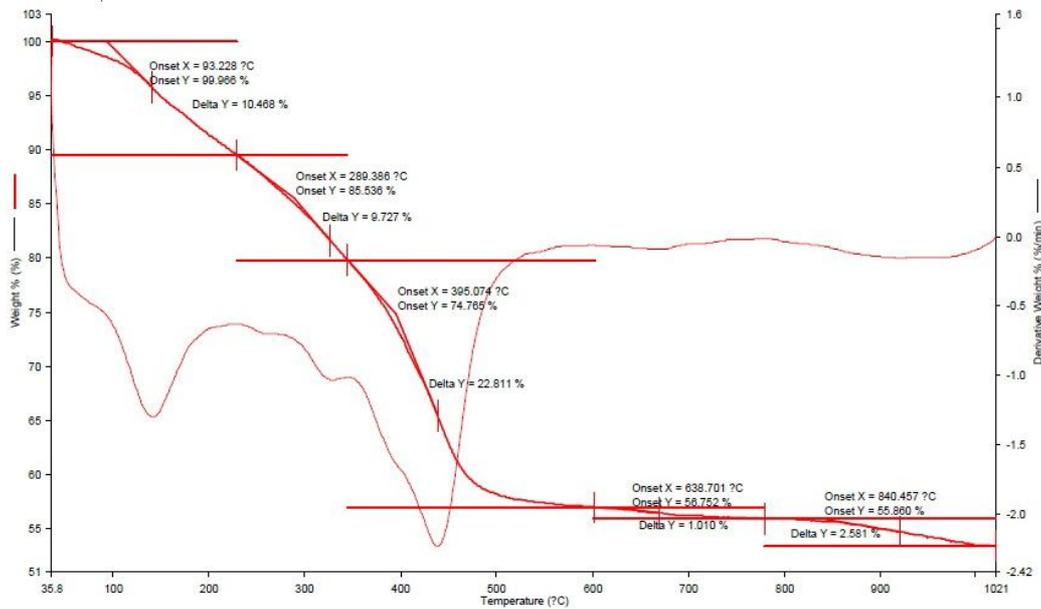


รูปที่ 4.2 TGA Thermogram of waste sludge

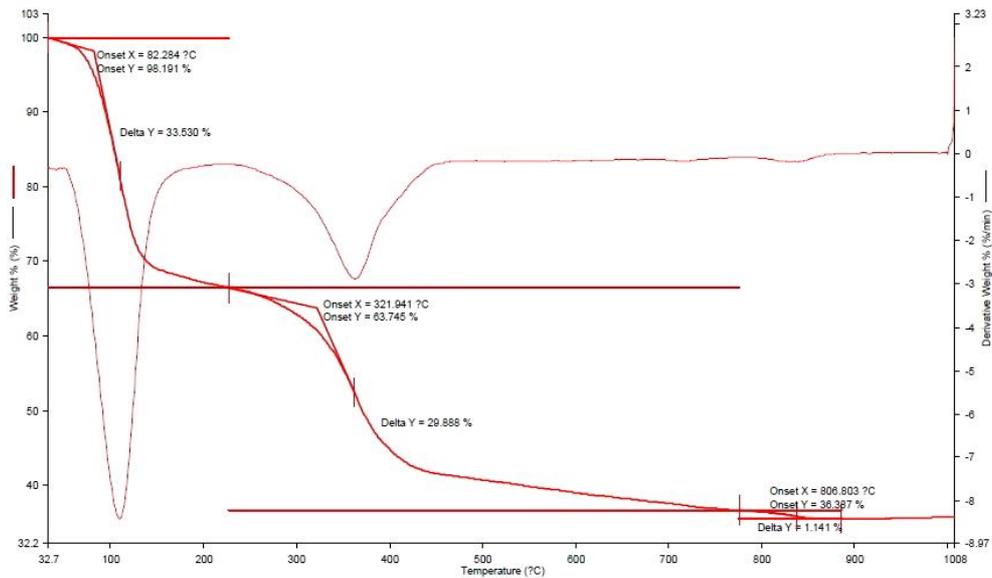


รูปที่ 4.3 TGA Thermogram of waste sludge after dewatering by compression.

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าองค์ประกอบที่เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิในช่วงระหว่าง 80 - 150°C นอกจากมีความน่าจะเป็นที่เป็นความชื้นแล้ว ยังประกอบด้วยสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เพราะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย หลังจากการอบแห้ง สำหรับองค์ประกอบที่เกิดการสลายตัวที่ช่วงอุณหภูมิ 300-500°C ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอน จะเกิดการรวมตัวหลังจากการบีบอัด และอบแห้ง โดยทำให้เกิดการสารเชิงซ้อนชนิดต่างๆ ที่ทนต่ออุณหภูมิการสลายตัวในช่วงต่างๆ แต่เมื่อนำตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว ไปบดคย่อย และกรองด้วยตะแกรงขนาด 70 mesh สารประกอบที่ติดอยู่บนตะแกรงกรองจะมีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกับกากชี้แป้งดิบ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



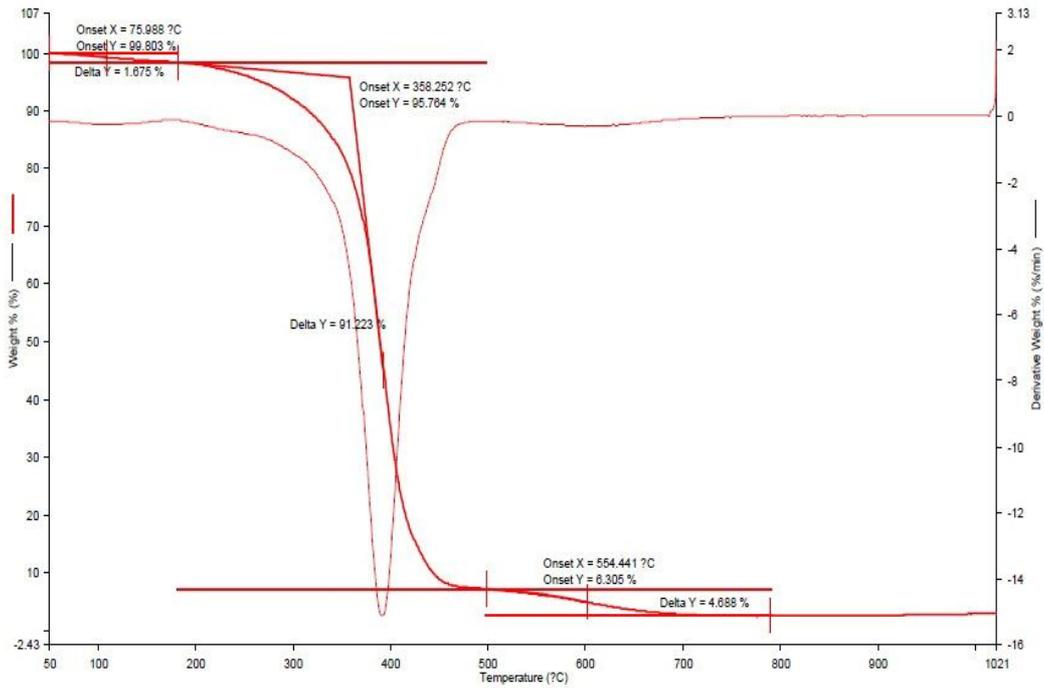
รูปที่ 4.4 TGA Thermogram of waste sludge after drying in air oven for 24 hours



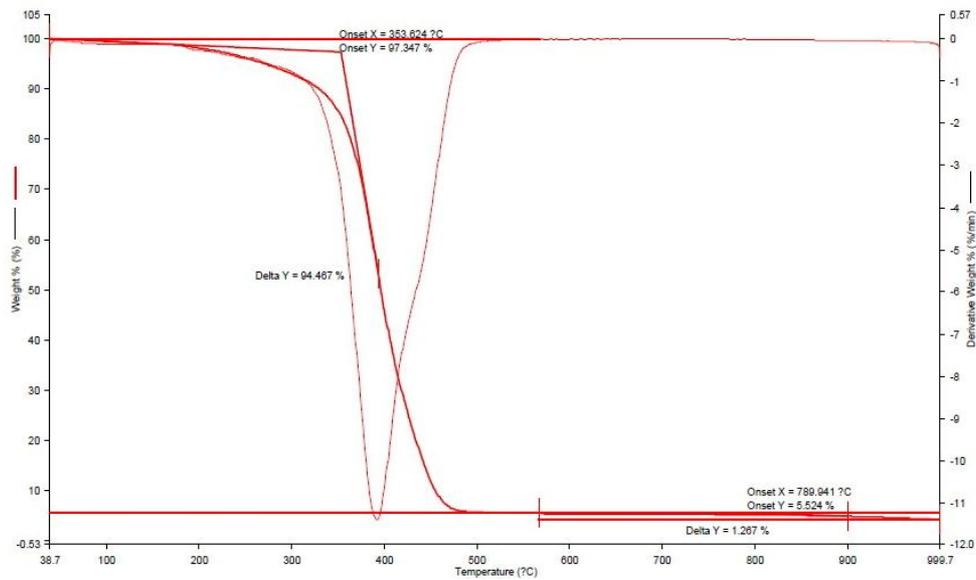
รูปที่ 4.5 TGA Thermogram of waste sludge after filtering

4.2 สมบัติยางที่มีอยู่ในกากชีเป้ง

เมื่อนำส่วนน้ำที่ได้จากการแช่กากชีเป้งที่ผ่านการบด และอัดรีดมาทำให้เกิดการจับตัวโดยกรดฟอร์มิก จะทำให้ได้ยางที่มีความบริสุทธิ์สูง ดังแสดงด้วยกราฟองค์ประกอบในรูปที่ 4.6 ถึงแม้ว่าจะนำตัวอย่างที่ได้มาละลายในตัวทำละลายโทลูอินเพื่อแยกสิ่งสกปรกออก แต่ยางที่ได้ยังคงมีองค์ประกอบหลักเช่นเดิม ดังแสดงในรูปที่ 4.7

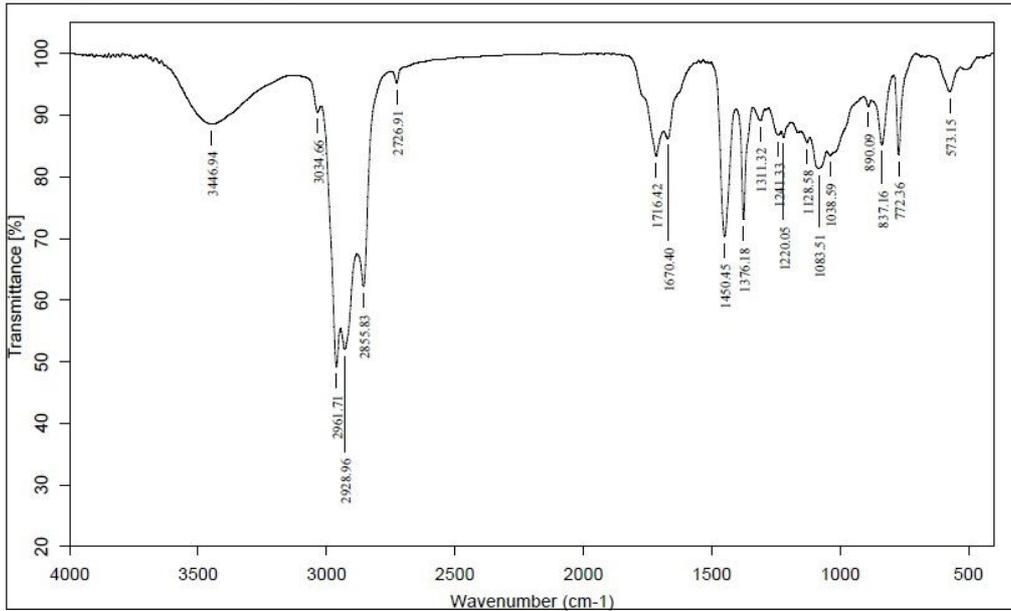


รูปที่ 4.6 TGA Thermogram of coagulated rubber with formic acid



รูปที่ 4.7 TGA Thermogram of purified retrieved rubber by dissolving with toluene

เมื่อนำยางที่ได้มาศึกษาโครงสร้างโดยใช้เทคนิค FT-IR ได้สเปกตรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.8 มีพีคที่สำคัญ ดังนี้ 2962 cm^{-1} (CH_3 asymmetric stretching) 2855 cm^{-1} (CH_2 asymmetric stretching) 1650 cm^{-1} ($\text{C}=\text{C}$ stretching) 889 cm^{-1} (CH_3 wagging) 837 cm^{-1} ($=\text{C}-\text{H}$ wagging) และ 713 cm^{-1} ($\text{O}-\text{H}$ out-of-plane bend) ซึ่งแสดงว่ายางที่ได้มีโครงสร้างเช่นเดียวกับยางธรรมชาติคือ *cis*-1,4-polyisoprene



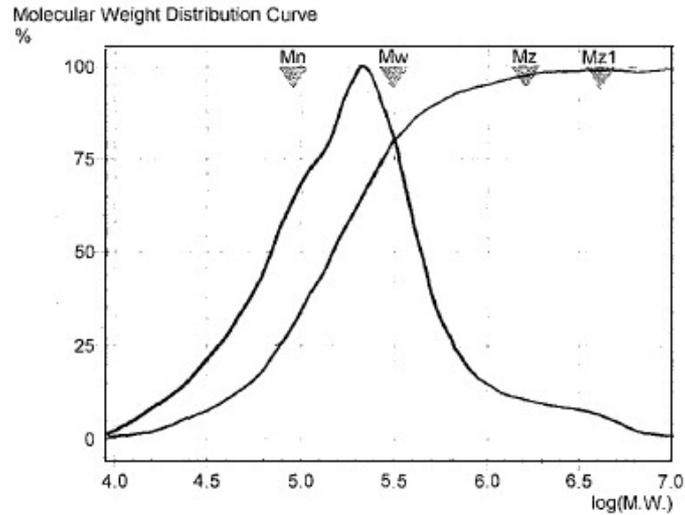
รูปที่ 4.8 FT-IR Spectra of purified retrieved rubber

ในขณะที่น้ำหนักโมเลกุลของยางที่แยกออกมาได้จากกากซีเป็งมีค่าที่ต่ำกว่ายางธรรมชาติเกรดมาตรฐาน STR5L ดังแสดงในตารางที่ 4.2

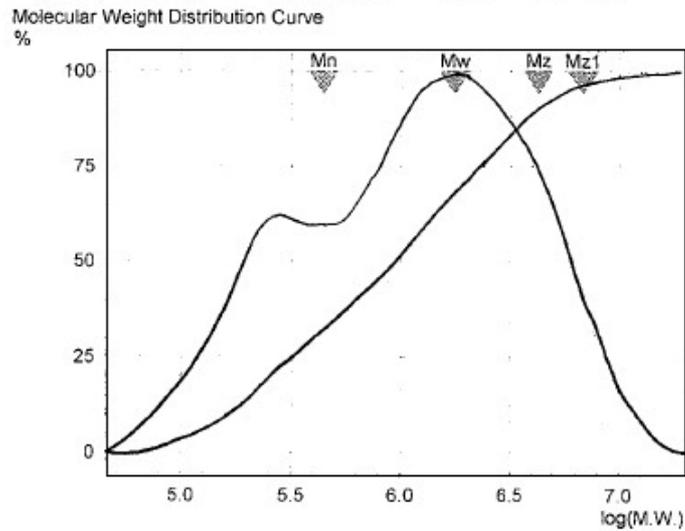
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของยางที่แยกได้จากกากซีเป็งเปรียบเทียบกับยางมาตรฐาน STR5L

ชนิดของยาง	M_n (g/mol)	M_w (g/mol)	M_w/M_n
ยางที่แยกออกจากกากซีเป็ง	90,972	313,704	3.44837
STR 5L	442,424	1,745,530	3.94538

อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมักเป็นที่ต้องการของตลาด เพราะนอกจากช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ของการผสมยางธรรมชาติกับพอลิเมอร์บางชนิดแล้ว ยังช่วยลดพลังงานจากการบดผสมยางเข้ากับสารเคมีด้วย โดยกราฟแสดงการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10 สำหรับยางที่แยกออกจากกากซีเป็ง และยางมาตรฐานเกรด STR5L ตามลำดับ พบว่ายางที่แยกได้จากกากซีเป็งมีลักษณะการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลแบบ unimodal ซึ่งมีข้อดีกว่าในยางธรรมชาติเกรดมาตรฐานที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลแบบ bimodal ในแง่ของการลดความแปรปรวนจากการใช้งานธรรมชาติเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบน้ำหนักโมเลกุลของเนื้อเยื่อที่แยกจากกากจีแป้ง



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบน้ำหนักโมเลกุลของเนื้อเยื่อSTR 5L

4.3 การย่อยกากจีแป้งโดยใช้กรดกำมะถัน

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยกากจีแป้งโดยใช้กรดกำมะถัน พบว่า กรดกำมะถันที่เจือจาง มีความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก จะไม่มีผลต่อการแยกเนื้อเยื่อออกจากกากจีแป้ง นอกจากการชะสารอนินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 กากจีแป้งมีสีที่จางลง ขณะที่สารละลายกรดหลังจากการแช่กากจีแป้งจะมีสีน้ำตาลอ่อน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดกำมะถัน จะพบว่ากากจีแป้งจะลอยขึ้นสู่ผิวด้านบนของสารละลาย และสารละลายมีสีน้ำตาลเข้ม ดังแสดงในรูปที่ 4.12 –

4.14



รูปที่ 4.11 แสดงประสิทธิภาพการย่อยกากจีแป้งโดยใช้กรดกำมะถันเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพการย่อยกากจีแป้งโดยใช้กรดกำมะถันเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพการย่อยกากจีแป้งโดยใช้กรดกำมะถันเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.14 แสดงประสิทธิภาพการย่อยกากจี้แ่งโดยใช้กรดกำมะถันเข้มข้น 30% โดยน้ำหนัก

การที่กากจี้แ่งลอยขึ้นสู่ผิวด้านบนของสารละลายเป็นผลมาจากการละลายของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในกากจี้แ่ง โดยเนื้อยางจะไม่ละลาย จึงทำให้ได้เนื้อยางที่มีความบริสุทธิ์ลอยขึ้นสู่ด้านบนของสารละลาย และพบว่าปริมาณยางที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของกรดกำมะถันที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณยางที่แยกออกมาได้จากกากจีแป็งโดยใช้กรดกำมะถันที่มีความเข้มข้น และปริมาณต่างๆ กัน

Sulfuric acid	Waste Sludge (g)	Retrieved Rubber (g)	%Rubber Recovery
40-100	300	29.22	11.36
40-200	300	34.09	9.74
40-300	300	27.1	9.03
30-100	300	43.78	14.59
30-200	300	28.01	9.34
30-300	300	24.22	8.07
30-500	300	25.96	8.65
20-200	300	78.26	16.09
20-300	300	39.67	13.22
20-400	300	26.33	8.78
20-500	300	27.64	9.21
20-600	300	27.93	9.31
20-700	300	29.21	9.74
20-1000	300	28.61	9.54
10-600	300	35.46	11.82
10-800	300	29.29	9.76
10-1000	300	58.34	9.45

ปริมาณยางที่ได้จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณและความเข้มข้นของสารละลายกรด เป็นไปได้ว่า ซัลเฟตของสารละลายกรดที่แตกตัวจะไปเกิดอันตรกิริยากับสารอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของ กากจีแป็ง และช่วยเพิ่มค่าการละลาย ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้กรดกำมะถันที่มีความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ในการขยายระดับการแยกเนื้อยางออกจากกากจีแป็ง และใช้สัดส่วนผสมระหว่างกาก จีแป็งกับสารละลายกรด 3:8 เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรม โดยถึงแยก ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ภาพแสดงการขยายระดับการแยกเนื้อยางออกจากกากจีแป็งที่มีน้ำหนัก 30 กิโลกรัม

4.4 สมบัติและการแปรรูปร่างที่แยกออกจากกากจีแป็ง

จากการขยายระดับการผลิต พบว่าหลังจากการเติมสารละลายกรดในกากจีแป็ง ทำให้ได้ยางลอยสู่ผิวด้านบนของสารละลาย ภายในเวลาอันสั้น (ประมาณ 5 นาที) แล้ว ชั้นของเนื้อยางที่อยู่ผิวด้านบนจะถูกบีบให้แคบลง จนคงที่ภายในเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อแยกสารละลายออกจากตัวถังแล้ว ยางที่ได้จะถูกล้างด้วยน้ำจนแน่ใจว่าไม่มีกรดซัลฟิวริกตกค้างอยู่ นำไปรีดเป็นแผ่นบาง ผึ่งแห้งและอบจนแห้งดีที่อุณหภูมิ 100°C จะทำให้ได้ยางที่มีคุณภาพเทียบเท่ากับยางดิบเกรดมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมบัติของยางที่แยกออกจากกากจีแป็งเปรียบเทียบกับยาง STR 5L

Properties	Rubber	
	STR 5L	Retrieved rubber
Mooney Viscosity [ML1+4, 100°C]	60	49
Initial Plasticity (Po)	40	33
Plasticity Retention Index (PRI)	77	93
Nitrogen content (%)	0.3	0.9
Ash content (%)	0.1	3.5

ยางที่แยกได้จากกากจี้แป้งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่ายางธรรมชาติเกรดมาตรฐาน โดยทั่วไป จึงทำให้ได้ค่าความหนืดมูนนี่ที่ต่ำ เช่นเดียวกับกับค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น (Po) ในขณะที่ค่าดัชนีความอ่อนตัว (PRI) มีค่าเพิ่มสูงขึ้น และใกล้เคียงกันกับยางแผ่น แสดงว่าเนื้อยางที่แยกออกมาได้จากกากจี้แป้ง ยังคงมีสารอนินทรีย์บางชนิดที่สามารถช่วยต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากความร้อนเจือปนอยู่ และสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจน และปริมาณเถ้าที่มีปริมาณมากกว่าในยางมาตรฐาน

เมื่อนำยางที่ได้มาผสมสารเคมีและขึ้นรูปเป็นแผ่นบาง ได้ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งการใช้ยางที่แยกได้จากกากจี้แป้งมาขึ้นรูป ทำให้แผ่นยางที่มีสีคล้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับยางมาตรฐานเกรด STR5L ในขณะที่สมบัติเชิงกลที่ทดสอบไม่แตกต่างกันมากนัก โดยแผ่นยางที่ได้จากยางที่แยกออกจากกากจี้แป้งจะมีค่า Tensile Strength (TS) = 18 MPa และ %Elongation at Break = 670 ในขณะที่ยาง STR5L มีค่า TS = 21 MPa และ %Elongation at Break = 730

จากงานวิจัยนี้ กระบวนการแยกเนื้อยางออกจากกากจี้แป้งโดยใช้กรดซัลฟูริกจึงมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้ได้ยางที่มีความบริสุทธิ์ และสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ เพื่อช่วยเพิ่มมูลค่าจากกากของเสียที่มีความจำเป็นต้องกำจัดตามข้อกำหนดของกรมควบคุมมลพิษ



รูปที่ 4.16 แสดงชิ้นงานที่ได้จากการแปรรูปยางที่แยกออกจากกากจี้แป้ง

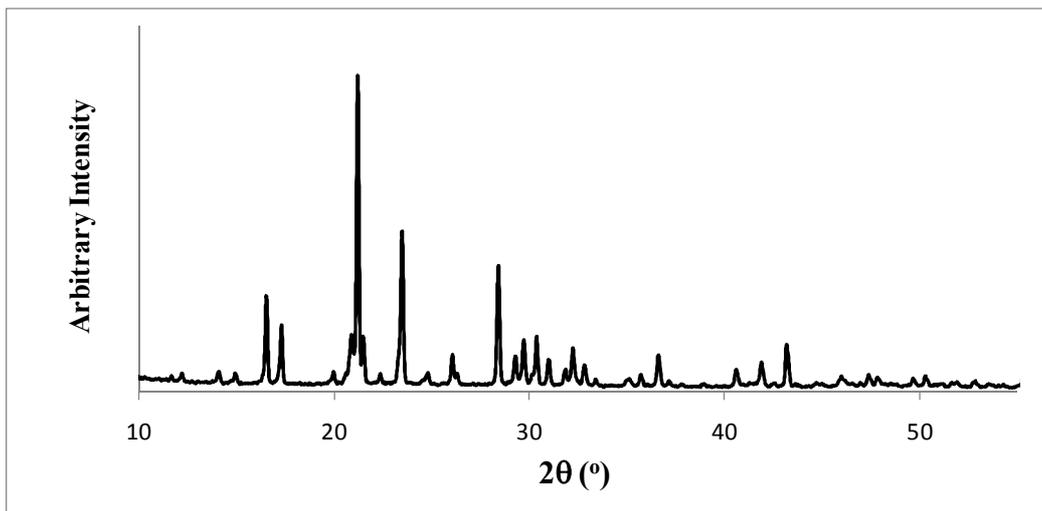
4.5 แนวทางการใช้ประโยชน์จากน้ำย่อยกากจีแป้ง

ปัจจัยสำคัญของการใช้เทคโนโลยีนี้คือปริมาณน้ำเสียที่ต้องบำบัดเพิ่มสูงขึ้น ถึงแม้ว่าการใช้กรดซัลฟริกเพื่อแยกเนื้อเยื่อออกจากกากจีแป้ง มีต้นทุนที่ต่ำ แต่ค่าใช้จ่ายจากการบำบัดน้ำเสียอาจทำให้เทคโนโลยีนี้ไม่ได้รับความสนใจ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้หาแนวทางการกำจัดน้ำย่อยกากจีแป้งโดยใช้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำออก ทำให้ได้สารอนินทรีย์ในรูปผลึก ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ

โดยผลึกที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ดังแสดงในรูปที่ 4.18 พบว่าผลึกมีโครงสร้างเป็น $(\text{NH}_4)_2(\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6)(\text{SO}_4)_2$ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของแมกนีเซียมที่ติดมากับยางแอมโมเนียมจาก DAP และซัลเฟตจากกรดซัลฟริก ผลึกที่ได้จะมีสีขาวใส มันแวว และละลายน้ำได้ง่าย สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าได้



รูปที่ 4.18 แสดง Powder XRD Pattern ของผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียมซัลเฟต

สำหรับสารละลายที่เหลือจากการตกผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียมซัลเฟต เมื่อเติมสารละลาย NaOH จะทำให้ได้ตะกอนสีม่วงอ่อนของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ดังแสดงในรูปที่ 4.19 และเมื่อทำการอบแห้งจะได้ตะกอนที่มีความพรุนตัวสูง ดังแสดงในรูปที่ 4.20

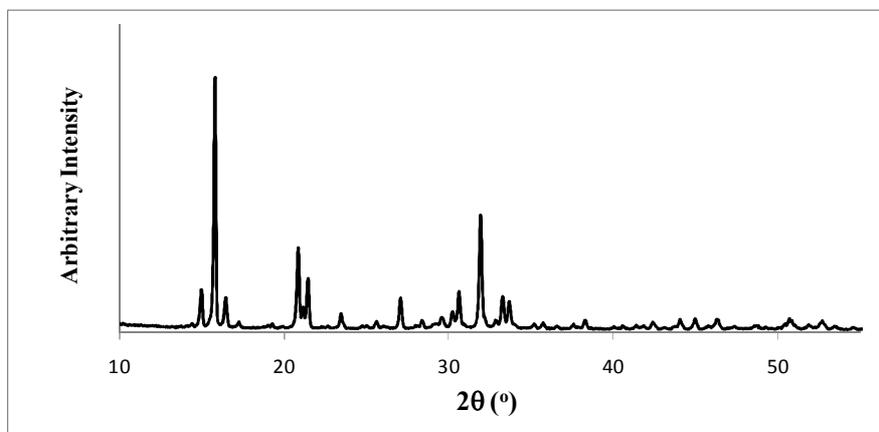


รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะการตกตะกอนของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต



รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะตะกอนแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตที่ได้จากงานวิจัย

ตะกอนแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตที่ได้จากงานวิจัยนี้ เป็นปุ๋ยฟอสเฟตที่มีมูลค่าสูงและกำลังเป็นที่ต้องการของตลาด ซึ่งประเทศไทยขาดแคลน และมีความจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยชนิดนี้ปริมาณมาก จนต้องนำเข้าปุ๋ยชนิดนี้จากต่างประเทศ



รูปที่ 4.21 แสดง Powder XRD Pattern ของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต

5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

กากจี้แป้งซึ่งเป็นของเสียอุตสาหกรรมเมื่อนำมาบด จะทำให้เกิดการย่อยสลายตัวได้เร็วในสารละลายกรดกำมะถันที่มีความเข้มข้นมากกว่า 10% โดยน้ำหนัก โดยกรดกำมะถันจะแยกสารอินทรีย์ออกจากกากจี้แป้ง และช่วยเพิ่มความสามารถในการละลาย ของแข็งที่แยกออกมาได้จะมีองค์ประกอบเป็นยางธรรมชาติมากกว่า 90% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีสมบัติไม่แตกต่างจากยางมาตรฐานเกรด STR5L มากนัก และสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรง และความยืดหยุ่นได้เช่นเดียวกัน

สำหรับกรดกำมะถันที่ใช้ย่อยกากจี้แป้ง เมื่อนำมาตกผลึกจะได้ผลึกของแมกนีเซียมแอมโมเนียมซัลเฟต ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมไฟฟ้า สำหรับฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในสารละลายสามารถแยกออกมาได้จากการปล่อยให้เกิดปฏิกิริยากับโซดาไฟ ซึ่งจะได้ตะกอนสีม่วงอ่อน มีโครงสร้างเป็นแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ซึ่งสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตที่มีมูลค่าได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาวิจัยถึงการประยุกต์ใช้งานผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียมซัลเฟต และตะกอนแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ
2. ควรนำแนวทางที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้งานจริงในโรงงานต้นแบบ เป็นระยะเวลาหนึ่งเพื่อเป็นการกำจัดของเสียกากจี้แป้ง โดยการเพิ่มมูลค่าของเสีย แทนที่การฝังกลบซึ่งจะมีผลต่อสภาพดินและสภาวะแวดล้อมในระยะยาว

รายละเอียดต้นทุนการแยกเนื้อง่ายออกจากกากจี้แป้ง

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดรวม 5,000 บาท ดังรายการต่อไปนี้

- ค่าสารเคมี รวม 4000 บาท (คิดต่อกากจี้แป้งน้ำหนัก 1000 กก.) โดยแยกเป็น
 - สารละลายกรด 500 กก. (กก. ละ 4 บาท) คิดเป็นเงิน 2,000 บาท
 - สารละลายพอลิเมอร์ 20 กก. (กก. ละ 100 บาท) คิดเป็นเงิน 2,000 บาท
- ค่าใช้จ่ายอื่นๆ 1,000 บาท

ผลลัพธ์ที่ได้คิดเป็นเงิน รวม 17,500 บาท ดังรายการต่อไปนี้

- เนื้อง่าย 100 กก. (กก. ละ 100 บาท) คิดเป็นเงิน 10,000 บาท
- ตะกอนฟอสเฟต 150 กก. (กก. ละ 50 บาท) คิดเป็นเงิน 7,500 บาท

6. บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2548. **แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมน้ำยางข้น.**

โครงการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา กิจกรรมเสริมสร้างศักยภาพการจัดการมลพิษจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน.**

<http://courseware.rmutl.ac.th/courses/53/unit703.htm#head2>

(สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2554)

จินดา อุดชาชน. 2544. **แคลเซียมและแมกนีเซียม.** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

ณัฐวุฒิ กลางถิ่น และดำรง สุขเกษม. 2552. การประยุกต์ใช้กากขี้เป้งจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นเพื่อพัฒนางานด้านคอนกรีต (An Application of Sludge from Concentrated Latex Industry to Development Concrete Works). รายงานภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นิยม บุญพิทักษ์. 2543. **ปฐพีวิทยา.** กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏจันทรเกษม.

บุญธรรม นิธิอุทัย, พรพรรณ นิธิอุทัย และปรีชา ป้องภัย. ม.ป.ป. **เทคโนโลยีน้ำยางข้น.**

ปัตตานี : ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. วิทยาเขตปัตตานี.

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. 2549. เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548.

http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/law/00180774.PDF.

(สืบค้นเมื่อ 12 มิถุนายน 2553)

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. 2552. เรื่อง ยกเลิกและกำหนดมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำยางข้นธรรมชาติ พ.ศ. 2552.

<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2552/E/150/16.PDF>

(สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม 2554)

เพ็ญลักษณ์ เทศสุวรรณ. 2547. ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขี้เป้งของโรงงานน้ำยางข้น (Efficiency of activated carbon prepared from lutioid of rubber latex industry for the removal of dyes in synthetic wastewater). วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มานะชัย สังข์วาทิน. 2551. **คู่มือการทำสวนยางพารา.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : เกษตรสยามบุ๊คส์.

- วรารกรณ์ ขจรไชยกุล. 2549. **ยางธรรมชาติ : การผลิตและการใช้งาน (Natural Rubber : Production and Applications)**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดซีโน ดีไซน์.
- วราศรี เอกประสิทธิ์. 2543. การนำกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน (The Utilization of the Centrifuged Residue from Concentrated Latex Industry as a Soil Conditioner). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วิเชียร ฝอยพิกุล. 2536. **ความสมบูรณ์ของดิน**. กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสุรินทร์
- สถาบันวิจัยยาง. 2532. **รายงานมาตรฐานน้ำยางข้นไทย**. กรุงเทพฯ : องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สะเรอ นิยมเดชา. 2552. การเตรียมสารปรับปรุงดินจากกากขี้แป้งน้ำยางข้น โดยใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ Preparation of Soil Amendments from Concentrated Latex Sludge using Effective Microorganisms). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัย สาขาวิชาเคมีประยุกต์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ศุมาลี สุทธิประดิษฐ์. 2536. **ความสมบูรณ์ของดิน**. สงขลา : คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- สุเมธ ไชยประพัทธ์. 2552. **โครงการเสริมสร้างศักยภาพการจัดการสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมยางพาราไทย : กรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ยางวงและยางยืด**. รายงานฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรัมย์. 2543. **การผลิตยางธรรมชาติ (Natural Rubber Production)**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ปัตตานี : สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- สมทิพย์ ดำนธีรวณิชย์. ม.ป.ป. **ผลของการแปรรูปกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นต่อคุณลักษณะทางกายภาพ-เคมีและลักษณะการชะออกของธาตุอาหาร**. รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่องการพัฒนาสู่ระดับอุตสาหกรรมเพื่อนำกากของเสียจากโรงงานน้ำยางข้นมาใช้ใหม่ : กรณีศึกษาของกากขี้แป้ง, คณะเทคโนโลยีและการจัดการ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี.
- สมทิพย์ ดำนธีรวณิชย์, จริญญา บุญกาญจน์, อุดมผล พิษนีไพบูลย์ และเสาวลักษณ์ รุ่งตะวัน เรืองศรี. ม.ป.ป. **โครงการวิจัยย่อย 4 : การพัฒนาสู่ระดับอุตสาหกรรมเพื่อนำกากของเสียจากโรงงานน้ำยางข้นมาใช้ใหม่ : กรณีศึกษาของกากขี้แป้ง**. รายงานการวิจัยสมบูรณ์ ชุดโครงการวิจัย การจัดการของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้น.

- สมชาย องค์ประเสริฐ. 2531. **ปฏิวัติศาสตร์เบื้องต้น**. คณะผลิตกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้.
- สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา. 2552. **แนวทางปฏิบัติที่ดี. โครงการบริหารจัดการด้านมลพิษและสิ่งแวดล้อมของโรงงานผลิตภัณฑ์ยางพารา**. ม.ป.ท.
- อุตสาหกรรมยางพารา. http://www2.diw.go.th/I_Standard/Web/pane_files/Industry12.asp. (สืบค้นเมื่อ 12 มิถุนายน 2553)
- อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, สุรน ช่วยเกิด และสัตตะพงษ์ ชอบกัตัญญ. 2552. การทดแทนปุ๋ยด้วยกากตะกอนน้ำเสียและกากจีบั้งเพื่อการเพาะชำดินยางถุง (Replacement of fertilizers with sludge and rubber latex lutoid for nursering poly – bag rubber). <http://kucon.lib.ku.ac.th/Fulltext/KC4709012.pdf>
- อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์. ม.ป.ป. **ปฏิวัติวิทยา**. ยะลา : คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และการเกษตรมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
- เอิบ เขียวรีนรมณ์. 2541. **ปฏิวัติวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- Blackley, D.C. 1997. **Polymer Latices Science and technology**. Volume 2 : Types of lattices, 2th ed., London: Chapman & Hall Publ.
- Eaton, Andrew D., Clesceri Lenores S., Rice, Eugene W. and Green, Arnold E. 2005. **Standard Methods for The Examination of Water & Wastewater**. 21st, United States of America.
- Havlin, John L., Beaton, James D., Tisdale Samuel L. and Nelson Werner L. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers An Introduction to Nutrient Management**. New Jersey : Pearson Prentice Hall.
- Laegreid, M., Bockman, O.C. and Kaarstad. 1999. **Agriculture, Fertilizers and the Environment**. New York : CABI.
- Mortvadt, John J., Murphy Larry S. and Follett, Roy H. 2001. **Fertilizer Technology and Application**. United States of America. Meister Publishing.
- Prasad, Rajendra and Power, Jame F. 1936. **Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture**. New York : Lewis Publishers.
- RRIM. 1977. **RRIM course on soil, Management of soil and nutrition of hevea**. Rubber Research Insitute of Malaysia Kuala Lumpur.



รายงานการวิจัย

การเพิ่มมูลค่ากากของเสียน้ำแข็ง
ด้วยการนำมาใช้เป็นวัสดุทำกระถางต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้
**Value added of concentrated latex waste sludge
by using as flowerpot Material and brick for Orchid plant**
(โครงการย่อยที่ 2)

คณะผู้วิจัย

1. ผศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์ หัวหน้าโครงการ
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ดร. วิรัช ทวีปรีดา ผู้ร่วมวิจัย
สถานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน
ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
3. ผศ.ดร.ธันวดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์ ผู้ร่วมวิจัย
คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

2554

บทคัดย่อ
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

ชื่อโครงการ การเพิ่มมูลค่ากากของเสียซีเป็งด้วยการนำมาใช้เป็นวัสดุทำกระถาง
ต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้

Value added of concentrated latex waste sludge by using as flowerpot
material and brick for orchid plant

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2553 จำนวนเงิน 540,000 บาท

ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ กรกฎาคม 2553 ถึง กรกฎาคม 2554

หน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัยพร้อมหน่วยงานที่สังกัดและเลขหมายโทรศัพท์

ผศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์

หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ 0-74-287-116 โทรสาร 0-74-459-396

ผศ.ดร.ธันวดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์

หน่วยงานที่สังกัด คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ 0-74-286-844 โทรสาร 0-74-429-758

ดร.วิรัช ทวีปรีดา

หน่วยงานที่สังกัด สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ 0-74-288-367 โทรสาร 0-74-446-925

ส่วนที่ 2 บทคัดย่อ

คุณสมบัติของวัสดุดินเผาที่ถูกขึ้นรูปเป็นกระถาง และ อิฐปลูกกล้วยไม้โดยมีส่วนผสมของกากซีเป็งจากอุตสาหกรรมน้ำตาลซึ่งได้ถูกศึกษา วิเคราะห์คุณสมบัติ การชะละลายของธาตุอาหารพืช ผลการทดสอบการชะละลายของกากซีเป็งพบว่าปริมาณธาตุอาหารของพืชอยู่ในปริมาณมาก และมีโลหะหนักในปริมาณที่ต่ำกว่ามาตรฐานของ USEPA และกรมโรงงานอุตสาหกรรมของไทย การอบแห้งและร่อนกากซีเป็งผ่านตะแกรงเบอร์ 40 สามารถทำให้แยกส่วนที่เป็นเนื้อยางได้เพิ่มขึ้นมากกว่า 10% โดยน้ำหนักเทียบกับกากซีเป็งที่ยังไม่ได้ร่อน วัสดุทั้งที่ค้ำและผ่านตะแกรงยังคงมีธาตุอาหารพืชในปริมาณมาก เมื่อนำมาทำกระถางและอิฐปลูกกล้วยไม้โดยได้ส่วนผสมระหว่างดินเหนียวและกากซีเป็ง 80:20 โดยน้ำหนักแห้ง จะได้ผลิตภัณฑ์หลังการเผาที่มีความพรุนตัวสูง

นำหนักเบาเนื่องจากการที่เนื้อยางที่แทรกตัวในวัสดุถูกเผาไปแล้ว และมีธาตุอาหารโดยเฉพาะ โปแตสเซียม ฟอสฟอรัสและแมกนีเซียมสูง ผลการทดสอบการปลูกต้นมะลิและกล้วยไม้สกุลหวายเป็นที่น่าพอใจและพบการเจริญเติบโตที่ดีกว่าการใช้กระถางทั่วไปและใกล้เคียงกับการใช้อิฐปลูกกล้วยไม้ตามท้องตลาด ความหนาแน่นและความพรุนตัวของผลิตภัณฑ์มีผลต่อการชะละลายของธาตุอาหาร และการชะละลายของธาตุอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยไม่ต้องใช้ปุ๋ยเพิ่มเติมแต่อย่างใด

คำสำคัญ: กากชีเป้ง, น้ำยางข้น, ยาง, การชะละลาย, วัสดุปลูกพืช

This research aims to study the utilization of latex sludge from concentrated latex industry for planting materials production, (pots and orchid bricks), and investigate the leaching of nutrients from these products. The result found was latex sludge contains high plant nutrients whereas the heavy metal contents in the extracted solution are much lower than that allowed in the USEPA and the notification of Ministry of Industry, Thailand. The drying and sieving method by using US sieve size no.40 could recover > 10% by weight of rubber content. It was still leach high nutrients concentration for both the waste retained and sifted through a sieve. The used of good concentration ratio of clay: latex sludge (80:20) was used to produce pots and orchid bricks. The pottery product was light weight and high porosity due to the combustion of latex particle in pots and orchid bricks and contains high content of potassium, phosphorous and magnesium. The result showed the growth of jasmine and orchid (*Dendrobium*) planted by using the latex sludge mixed products were satisfied and was better than that used clay pot and commercial brick. The leaching ability depended on the density and porosity of product after mixing with latex sludge. The nutrients leached from these products could support the plant growth well without the need of fertilizer in addition.

Keywords: waste latex sludge, concentrated latex, rubber, leaching, planting material

1. บทนำ

กระบวนการผลิตของโรงงานน้ำยางข้นเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ทั้งในรูปของน้ำเสียและของเสีย โดยของเสียชนิดหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นคือ ตม หรือกากจีแป็ง (รูปที่ 1) (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี และคณะ, 2547 และ วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543) ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งตะกอนสีขาว เกิดจากการกระบวนการผลิตน้ำยางข้นซึ่งมีการปั่นแยกน้ำยาง (Centrifugation) โดยมีการเติมแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Diammonium Hydrogen Phosphate: DAHP) ลงในน้ำยางสดเพื่อรักษาสภาพน้ำยางก่อนเข้าสู่กระบวนการปั่นแยกเป็นน้ำยางข้นและแยกส่วนตะกอนแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางสด (Gazeley, 1988; Sathyseelan, 2006 และ White, 2001) จากกระบวนการปั่น



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 1 ก. กากจีแป็งจากเครื่องปั่นเหวี่ยง ข. กากจีแป็งที่จับตัวเป็นก้อน (วัชรพร ป็องก่าน, 2551)
ค. กากจีแป็งผ่านการอบแห้งและบดละเอียด

นอกจากนี้ยังสามารถแยกแหล่งที่มาของกากจีแป็งจากส่วนต่างๆตั้งแต่ขั้นตอนการรับวัตถุดิบไปจนถึงการปั่นแยกในสัดส่วนปริมาณที่แตกต่างกันนอกเหนือจาก ตะกอนจากการเติม DAHP และตะกอนจากการปั่นแยกซึ่งได้กล่าวไปแล้ว คือกากตะกอนในน้ำยางสดที่รับซื้อจากภายนอกและกากตะกอนในบ่อเก็บน้ำเสียจากกระบวนการผลิตซึ่งท้ายที่สุดจะถูกรวบรวมเข้าไว้ด้วยกันรอการจัดการต่อไป กากจีแป็ง ประกอบด้วยสิ่งเจือปนต่าง ๆ จำพวกฝุ่น ทราย เศษไม้ ฟอสฟอรัส ซีเมนต์และตะกอนของโลหะแมกนีเซียม มี pH ค่อนข้างเป็นกลางถึงด่างอ่อน ๆ ซึ่งอาจเกิดจากการเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพน้ำยาง (วิภาวรรณ อุบล, 2550) และมีค่าของแข็งระเหยได้ประมาณร้อยละ 60-70 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ในกากจีแป็งอบแห้งยังประกอบไปด้วยธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืช เช่น ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมงกานีส และสังกะสี ในปริมาณประมาณร้อยละ 3, 15, 1.2, 10 และ 0.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งค่าที่ได้อาจแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต และคุณภาพของน้ำยางสด เป็นต้น (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี และคณะ, 2547; วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543 และ Blackley, 1997)

ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น กากจีเป็งถือว่าเป็นของเสียที่ทางโรงงานไม่ต้องการ จากการศึกษาข้อมูลของโรงงานผลิตน้ำยางข้น ในเขตจังหวัดสงขลาพบว่า กากจีเป็งจะเกิดขึ้น ประมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำยางสดที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำยางข้น กล่าวคือ จะมีของเสีย ในรูปกากจีเป็งเกิดขึ้นในแต่ละโรงงานประมาณ 0.39-1.58 ตันต่อวัน (วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543 และ วันชัย แก้วยอด, 2540) ขึ้นกับขนาดการผลิตและในการกำจัดกากจีเป็งนั้น ทางโรงงานมักจะ ดำเนินการกำจัดด้วยการทิ้งไปหรือใช้ถมพื้นที่ ถนนหนทาง รวมทั้งการเผาทิ้ง (สมทิพย์ คำนธีรวิชัย และคณะ, 2545) ซึ่งอาจเป็นวิธีการกำจัดที่ไม่เหมาะสม เพราะอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ได้

ดังนั้นหากนำกากจีเป็งดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆได้ ก็จะเป็นการช่วยลดของเสีย จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้นได้ ทำให้ลดปริมาณกากจีเป็งที่จะนำไปกำจัดลงได้ ซึ่ง โครงการนี้ถือได้ว่าเป็นการต่อยอดโครงการวิจัยที่ได้ศึกษาแนวทางการนำกากจีเป็งจากโรงงาน อุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น ไปเป็นวัสดุก่อสร้าง โดยมุ่งศึกษาการนำไปทำอิฐดินเหนียว เป็น วัสดุก่อสร้างและตกแต่ง เป็นต้น ซึ่งเป็นการผสมกากจีเป็งโดยตรง ซึ่งผลการศึกษาเป็นที่น่าพอใจ และประเด็นที่น่าสนใจอีกหลายประการคือคุณสมบัติวัสดุที่มีน้ำหนักเบา สามารถควบคุมลักษณะ สมบัติ เช่นน้ำหนัก ความพรุน การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงที่ต้องการได้ จากการปรับเปลี่ยน ปริมาณกากจีเป็งลงในส่วนผสม และยังมีธาตุอาหารพืชชะละลายออกมาจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ศึกษา ด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากนำมาประยุกต์เป็นส่วนผสมของวัสดุดินเหนียวเพื่อทำกระถางปลูกต้นไม้ และหินปลูกกล้วยไม้ นับได้ว่าเป็นนวัตกรรมวัสดุที่มีความน่าสนใจไม่น้อย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1 ตรวจสอบลักษณะกากจีเป็งที่มาจากขั้นตอนต่างๆในกระบวนการผลิตก่อนและหลัง ทำการแยกเนื้อยางออก โดยวิธีการอบแห้งและร่อนแยกด้วยตะแกรงขนาดมาตรฐาน
- 2 หาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างดินเหนียวและกากจีเป็งที่จะขึ้นรูปเป็นกระถางและอิฐ ปลูกกล้วยไม้ให้ได้ตามลักษณะและคุณสมบัติที่ต้องการทั้งก่อนและหลังการแยกเนื้อยางออก
- 3 ศึกษาคุณสมบัติวัสดุที่ได้โดยการทดสอบปลูกต้นไม้ และการทดสอบการชะละลาย ของธาตุอาหารจากวัสดุที่ได้ และอัตราการเติบโตของพืช

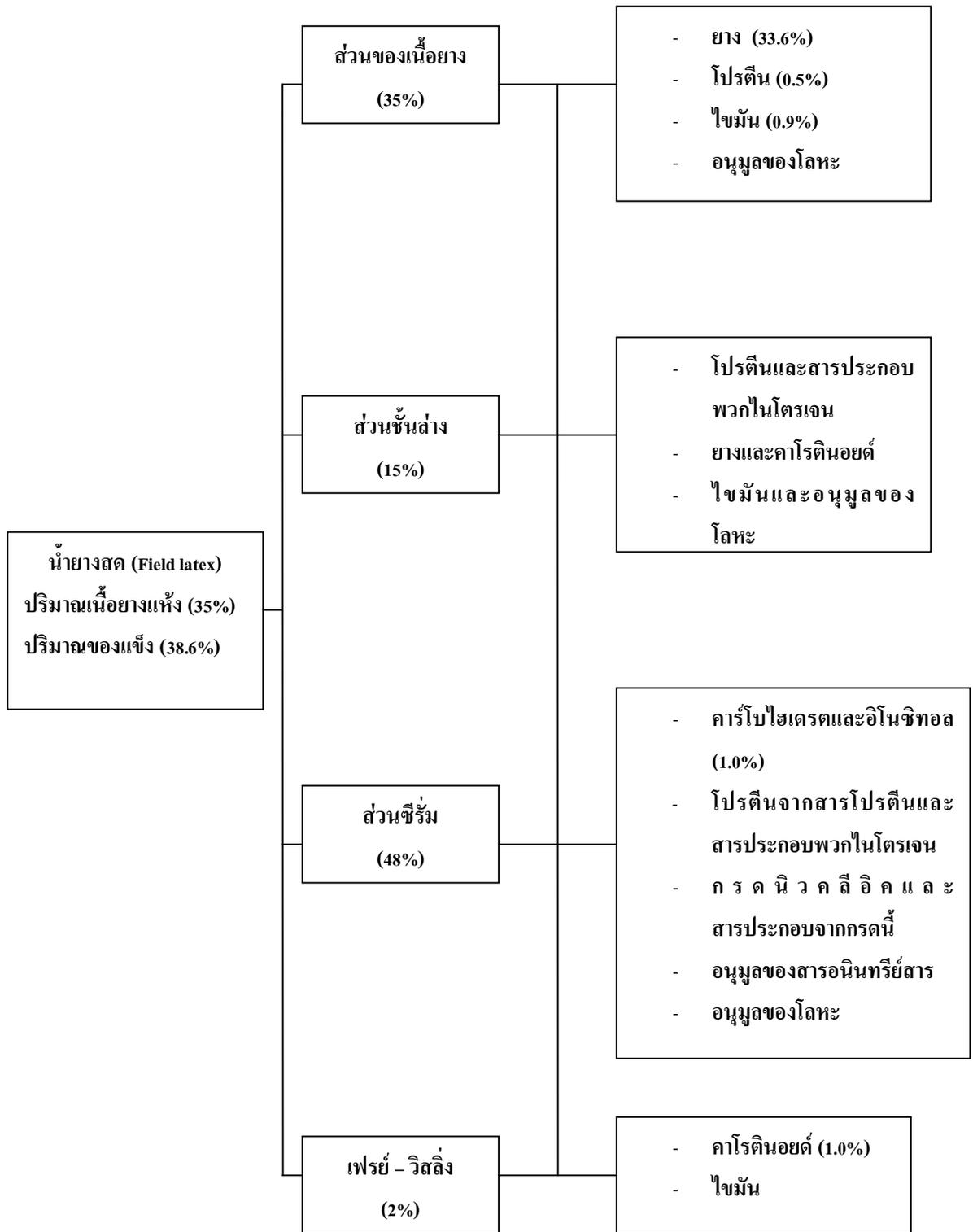
2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 น้ํายางธรรมชาติ

เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูงประมาณ 20,000 รอบต่อนาที จะสามารถแยกน้ำยางออกได้ 4 ส่วน เรียงจากด้านบนถึงด้านล่างของภาชนะ ได้แก่ ส่วนของเนื้อยาง อนุภาคเพอร์ซิ-วิลลิ่ง เซรุ่มและส่วนชั้นล่าง (รูปที่ 2.1) ส่วนของเนื้อยางอยู่ด้านบนสุด มีลักษณะเป็นครีมสีขาว เป็นอนุภาคของยางอาจมีของแข็งอื่น เช่น อนุมูลของโลหะ อันเจ็บบ้างเล็กน้อย ส่วนที่อยู่ติดกับเนื้อยางมีลักษณะเป็นอนุภาคเช่นเดียวกับชั้นยางแต่มีสีเหลือง เป็นอนุภาคของเพอร์ซิ-วิลลิ่ง เวลาปั่นมักปนอยู่ในส่วนของเซรุ่ม เซรุ่มจะมีสีใสปนเหลือง เป็นฟองง่าย ส่วนใหญ่ประกอบด้วย โปรตีน ฟอสฟอรัส ทองแดง โปรแตสเซียมและแมกนีเซียม ส่วนอยู่ของล่างสุดเป็นตะกอนสีเหลือง น้ำตาลคล้ำหรือสีขาว ส่วนใหญ่เป็นสารพวกหนัก เช่น แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และจีเต้า (เสาวนีย์ ก่อวุฒิ กุลรังสี, 2543)

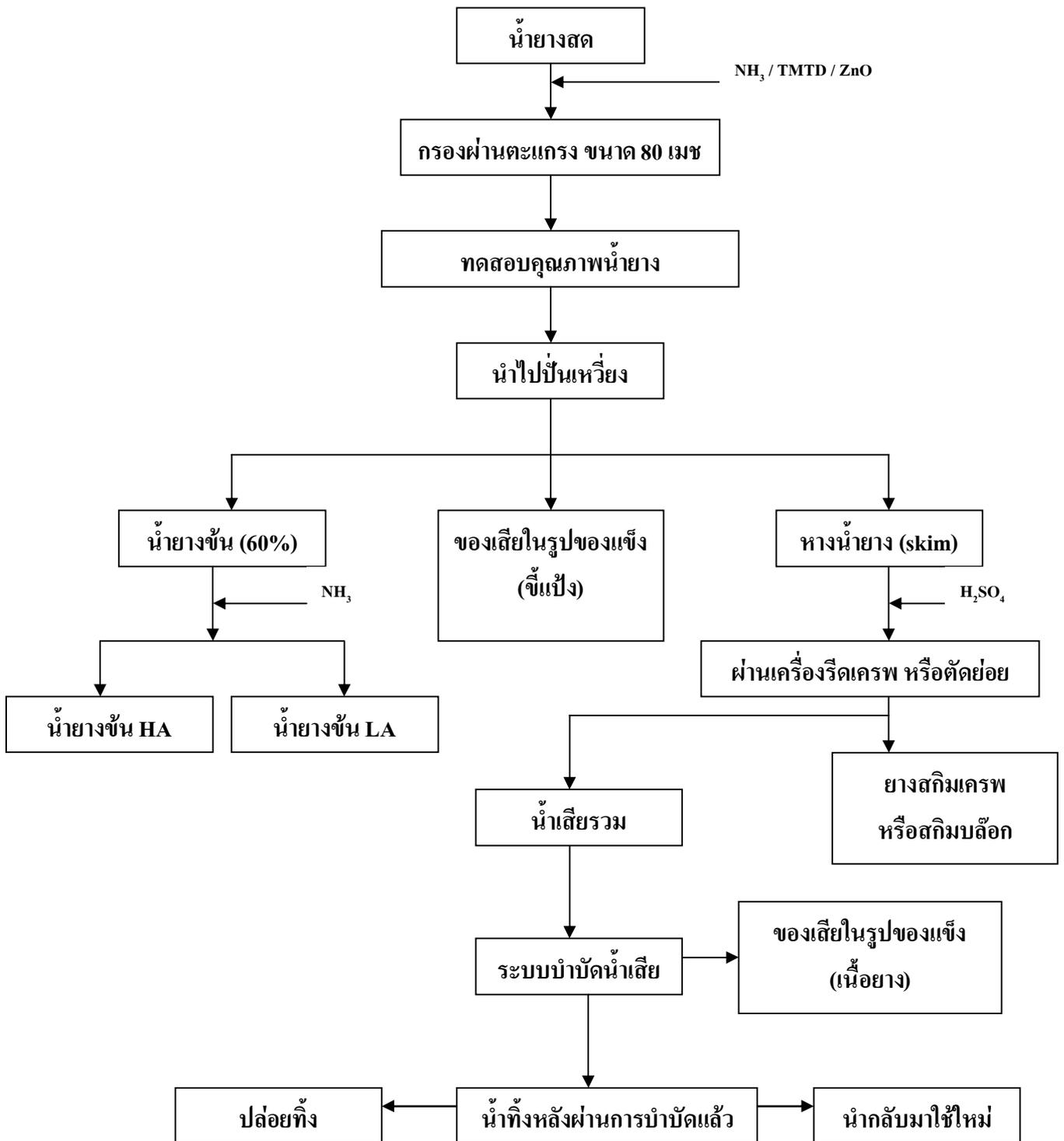
2.2 การผลิตน้ำยางข้น

การผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางสด ส่วนใหญ่ใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยการนำน้ำยางสดจากสวนยางมาใส่สารเคมีรักษาสภาพน้ำยางป้องกันน้ำยางจับตัว เมื่อน้ำยางสดเข้าโรงงานผลิตน้ำยางข้น จะกรองผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช (Mesh) ลงสู่รวมและนำตัวอย่างน้ำยางมาทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง หลังจากนั้นผ่านแก๊สแอมโมเนียสู่น้ำยางปริมาณไม่ต่ำกว่า 0.4% ของน้ำหนักยาง ตั้งทิ้งไว้ 1 วันเพื่อปล่อยให้เนื้อยางที่ได้ตะกอนเอาพวกสิ่งแปลกปลอมออกมาทดสอบปริมาณแมกนีเซียม หากน้ำยางมีปริมาณแมกนีเซียมสูงเกิน 50 ppm ให้เติม DAHP (Diammonium hydrogen phosphate) เพื่อตกตะกอน โลหะแมกนีเซียมเกิดปฏิกิริยา เป็น Magnesium ammonium phosphate ตะกอนเหล่านี้จะถูกล้างออกจากน้ำยาง (เมื่อปั่นเป็นน้ำยางข้นแล้วควรมีแมกนีเซียมไม่เกิน 20 ppm) (Gazeley, 1988; White, 2001 และ Sathyseelan, 2006) หลังจากนั้นนำน้ำยางไปปั่นเหวี่ยงได้น้ำยางข้นชนิด 60% และหางน้ำยาง (Skim latex) น้ำยางข้น 60% เก็บรักษาด้วยแอมโมเนีย ปริมาณ 0.7% เรียกว่าน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia ,HA) ถ้าใช้แอมโมเนีย 0.2% ร่วมกับสารช่วยเก็บรักษาน้ำยางอื่น เรียกว่าน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia,LA) ส่วนของหางน้ำยางนำมาจับตัวเนื้อยางด้วยกรดซัลฟิวริก แล้วผ่านเครื่องรีดเครพ หรือตัดย่อยทำสกิมเครพ หรือสกิมบล็อก โดยในกระบวนการผลิตของเสียเกิดขึ้น น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีค่า BOD เฉลี่ย 2,390 มิลลิกรัมต่อลิตรและมี pH เฉลี่ย 8.88 ส่วนน้ำเสียจากการผลิตยางสกิมเครพมีค่า BOD เฉลี่ย 10,489 มิลลิกรัมต่อลิตร และมี pH เฉลี่ย 4.47 (เสาวนีย์ ก่อวุฒิ กุลรังสี, 2546 อ้างถึง วันชัย, 2540)



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆของน้ำยางสดหลังการปั่นแยก

ที่มา : เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรัมย์, 2547



รูปที่ 2.2 การผลิตน้ำยางข้นและการเกิดของเสียของโรงงานน้ำยางข้น
ที่มา : เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2547

2.3 กากจี๋เป็ง

โรงงานผลิตน้ำยางข้นก่อให้เกิดกากจี๋เป็งซึ่งสามารถเกิดขึ้นบริเวณถังปั่น ดังรูปที่ 2.3 และถึงพักน้ำยางซึ่งจะตกตะกอนโลหะแมกนีเซียมก่อนนำน้ำยางมาปั่น (รูปที่ 2.4) ซึ่งกากจี๋เป็งที่เกิดขึ้นนี้จัดเป็นของเสียที่โรงงานไม่ต้องการ และเกิดขึ้นปริมาณมากถึงร้อยละ 0.5 ของน้ำยางข้น



รูปที่ 2.3 กากจี๋เป็งจากเครื่องปั่นเหวี่ยง



รูปที่ 2.4 กากจี๋เป็งในถังตกตะกอน

ลักษณะเบื้องต้นของกากจี๋เป็ง

ลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นของกากจี๋เป็งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นพบว่า กากจี๋เป็งสดมีลักษณะคล้ายโคลนตม สีขาวเทา บางครั้งมีสีเหลือง เนื้อละเอียด (รูปที่ 2.5) ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และซีดี (Blackley, 1997) กากจี๋เป็งมีสภาพค่อนข้าง

เป็นกลาง โดยในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีการเติมแอมโมเนียลงไปใต้น้ำยางสด หลังจากนั้นทำการปล่อน้ำยางเข้าทางท่อรับน้ำยางส่วนบนสุดของตัวเครื่องปั่นแยกน้ำยาง เครื่องปั่นจะทำการปั่นแยกน้ำยางได้น้ำยางข้น หางน้ำยาง และกากจีแป็ง ในขณะที่ทำการปั่นแอมโมเนียที่มีอยู่ในกากจีแป็งมีน้อย เมื่อนำมาวัดค่า pH ในกากจีแป็งจึงได้ค่าที่ค่อนข้างจะเป็นกลาง (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547)



รูปที่ 2.5 ลักษณะเบื้องต้นของกากจีแป็ง

ความหนาแน่นของกากจีแป็ง

กากจีแป็งจะมีสิ่งเจือปนอื่นมากกว่าน้ำยางสด ทำให้กากจีแป็งมีความหนาแน่นมากกว่า ซึ่งน้ำยางสดโดยทั่วไปมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.975 – 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร อนุภาคยางมีความหนาแน่น 0.92 กรัมต่อมิลลิลิตร (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2543) เมื่อนำน้ำยางสดมาทำการปั่นด้วยเครื่องเซนตริฟิวส์ด้วยความเร็ว 20,000 รอบต่อนาที จะสามารถแยกส่วนของอนุภาคยาง เซรุ่มและกากจีแป็งออกจากกันได้ ซึ่งความหนาแน่นของกากจีแป็งมีค่าประมาณ 1.16 – 1.63 กรัมต่อมิลลิลิตร เนื่องจากส่วนประกอบของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำยาง ได้แก่ เรซิน โลหะหนัก แป้ง โปรตีน ไขมัน และสารเคมีที่เติมลงไปก่อนนำน้ำยางมาผลิตเป็นน้ำยางข้น เช่น การเติม NH_3 , TMTD และ ZnO เพื่อเก็บรักษาน้ำยาง และมีการเติม DAHP ลงไปเพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียม ดังนั้นเมื่อทำการปั่นแยกน้ำยางด้วยเครื่องเซนตริฟิวส์ ส่วนประกอบของกากจีแป็งจะมีลักษณะเป็นโคลนตมสีเหลือง หรือสีขาวเทา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารพวกแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และซีเถ้า ทำให้กากจีแป็งมีความหนาแน่นที่สูงกว่าน้ำยางประมาณ 18.97 – 66.33%

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) และปริมาณความชื้น (MC)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของกากชี้แป้งส่วนใหญ่จะประกอบด้วยฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากการเติม DAHP (Diammonium hydrogen phosphate) เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยาง โดย DAHP (Diammonium hydrogen phosphate) จะทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมกลายเป็น Magnesium ammonium phosphate ตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยางตรงบริเวณถังพักน้ำยาง เมื่อนำน้ำยางสดมาเซนตริฟิวส์ด้วยถังปั่น ตะกอนที่เหลืออยู่จะรวมอยู่ในส่วนของกากชี้แป้ง นอกจากนี้ยังมีสารพวกโปรตีน คาร์โบไฮเดรต แป้ง น้ำตาลและส่วนประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในน้ำยาง (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2543) ส่วนของลูทอย์ในน้ำยางที่บวมแล้วเกิดการแตก ของเหลวภายในซึ่งเป็นสารแขวนลอยที่มีประจุบวกและไอออนของโลหะ เช่น แคลเซียมไอออน และแมกนีเซียมไอออนจะกระจายอยู่ในน้ำยาง ส่วนผนังชั้นเดียวที่เป็นเยื่อบางของลูทอย์ที่แตกออกมีรูปร่างไม่แน่นอน จะเกิดจากการจับตัวกันเองเป็นก้อนติดอยู่บนผิวนอกของอนุภาคยางทำให้อนุภาคยางเกิดการสูญเสียความเสถียรได้ง่าย แยกตัวออกจากเนื้อยางและเกาะรวมกันอยู่ด้านล่างซึ่งเป็นส่วนของกากชี้แป้งสามารถแยกออกได้เมื่อเซนตริฟิวส์ สำหรับอนุภาคเฟรย์-วิสลิงซึ่งเป็นสารไม่ใช่ยางมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายาง แต่ความหนาแน่นน้อยกว่า มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้นมีปริมาณไม่มากนักประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาโรตินอยด์ (Blackley, 1997) สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรุ่ม เมื่อทำการปั่นก็สามารถแยกออกมาอยู่ในส่วนของกากชี้แป้ง ส่วนปริมาณของความชื้นที่มีอยู่ในกากชี้แป้งส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยส่วนของน้ำและแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในกากชี้แป้งหลังการเซนตริฟิวส์ ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าประมาณ 58.05-62.96% โดยน้ำหนัก และความชื้นประมาณ 37.05-41.95% โดยน้ำหนัก

ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ (FS) และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้

ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ส่วนใหญ่ในกากชี้แป้ง ประกอบไปด้วยสารพวกคาร์บอนและพวกโลหะหนักที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิ 550 ± 50 องศาเซลเซียส ส่วนพวกสารอินทรีย์อื่น ๆ ที่มีอยู่ในกากชี้แป้งจะเกิดการระเหยกลายเป็นแก๊สซึ่งส่วนนี้คือปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (APHA, AWWA and WEF 1998) ซึ่งกากชี้แป้งมีปริมาณของแข็งคงอยู่มีค่าระหว่าง 24-28% โดยน้ำหนัก และของแข็งที่ระเหยได้มีค่าระหว่าง 72-76% โดยน้ำหนัก (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547)

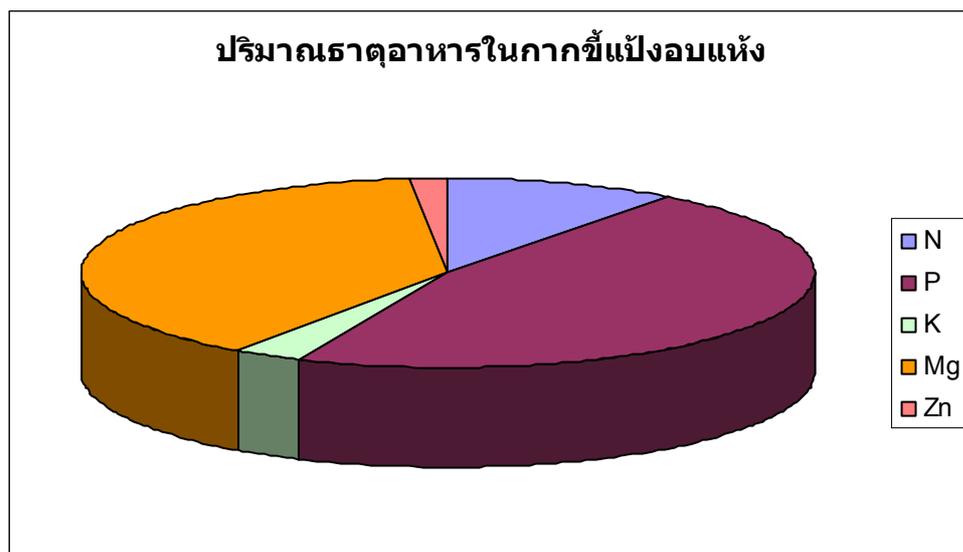
กากชี้แป้งอบแห้ง

นำกากชี้แป้งมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24-48 ชั่วโมง เพื่อเอาน้ำ เซรุ่ม และแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในกากชี้แป้งออก บดกากชี้แป้งอบแห้งให้เป็นผงละเอียด จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีที่มีอยู่ในกากชี้แป้งอบแห้ง ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสี และแคลเซียม ซึ่งพบว่ากากชี้แป้งอบแห้งมีปริมาณธาตุอาหารดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 2.6

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารของกากจี้เป้งอบแห้ง

ธาตุอาหาร	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)
1. ไนโตรเจน (N)	3.07-3.65
2. ฟอสฟอรัส (P)	14.22-15.17
3. โพแทสเซียม (K)	0.79-1.20
4. โลหะหนัก	
4.1 แมกนีเซียม (Mg)	11.69-12.86
4.2 สังกะสี (Zn)	0.37-0.98
4.3 แคลเซียม (Ca)	0.01-0.06

ที่มา : เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรัมย์, 2547



รูปที่ 2.6 ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ของกากจี้เป้งอบแห้ง

ที่มา : เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรัมย์, 2547

ปริมาณไนโตรเจน (Total Nitrogen)

ปริมาณไนโตรเจนในกากจี้เป้งอบแห้งส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนของโปรตีนบนอนุภาคของยางที่สลายตัวออกมาและเป็นส่วนของผนังลูทอยด์ซึ่งเกาะบนอนุภาคยางแล้วทำให้อนุภาคยางเกิดการสูญเสียสภาพจับตัวเป็นก้อน เมื่อทำการเซนตริฟิวส์จึงรวมตัวอยู่ในส่วนของกากจี้เป้ง ซึ่งสาเหตุสำคัญทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนในกากจี้เป้ง สำหรับสารละลายแอมโมเนียที่เติมลงไปให้น้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยางนั้น จะเกิดการระเหินกลายเป็นไอน้ำระหว่าง

การนำกากขี้แ่งไปบดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะไม่เหลืออยู่ในกากขี้แ่ง จากตารางที่ 1 จะเห็นว่ากากขี้แ่งอบแห้งมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 3.07-3.65% โดยน้ำหนัก

ปริมาณฟอสฟอรัส (Total Phosphorus)

ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ได้มาจากการเติม DAHP (Diammonium hydrogen phosphate) เพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางสด จากตารางที่ 1 พบว่ากากขี้แ่งจะมีธาตุฟอสฟอรัสประมาณ 14.22-15.17% โดยน้ำหนัก

ปริมาณโพแทสเซียม (Total Potassium)

ปริมาณโพแทสเซียมที่มีอยู่ในกากขี้แ่งคาดว่าได้จากอนุภาคยาง และเซรุ่มที่เหลือจากการเซนตริฟิวส์ และจากแร่ธาตุที่ต้นยางพาราดูดซึมมาจากดิน ซึ่งจากตารางที่ 1 พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในกากขี้แ่งประมาณ 0.79-1.20% โดยน้ำหนัก

ปริมาณโลหะอื่นๆ

น้ำยางสดจากสวนก่อนนำมาผลิตเป็นน้ำยางข้น จะมีการเติม DAHP (Diammonium hydrogen phosphate) ที่ใส่ลงไปใต้น้ำยางสด เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยาง โดย DAHP (Diammonium hydrogen phosphate) ทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ Magnesium ammonium phosphate) สารนี้จะตกตะกอนหรือจะถูกแยกออกจากน้ำยาง โดยปริมาณแมกนีเซียมที่อยู่ในกากขี้แ่ง คาดว่าเป็นส่วนของตะกอนที่เหลืออยู่ในน้ำยางสดที่ทำการตกตะกอนแมกนีเซียมออกไปแล้ว เมื่อเซนตริฟิวส์ด้วยถังปั่น แมกนีเซียมที่เหลืออยู่ก็จะรวมอยู่ในส่วนของกากขี้แ่งจากตารางที่ 1 พบว่าในกากขี้แ่งมีธาตุแมกนีเซียมโดยเฉลี่ยประมาณ 11.69-12.86% โดยน้ำหนัก

นอกจากนี้กากขี้แ่งยังมีธาตุอื่นๆอีกได้แก่ สังกะสีและแคลเซียม มีค่าประมาณ 0.37-0.98 และ 0.01-0.06% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยปริมาณของสังกะสีได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีการเติมซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้เป็นสารกระตุ้น และเก็บรักษาน้ำยางจึงทำให้มีสังกะสีในกากขี้แ่ง และแคลเซียมได้จากลูทอยด์โดยในสภาพอากาศร้อน อุณหภูมิสูงขึ้น ลูทอยด์จะเกิดการแตกตัวทำให้ของเหลวที่อยู่ในลูทอยด์ซึ่งมีลักษณะเป็นสารแขวนลอยเกิดการไหล และปะปนรวมอยู่ในเซรุ่มเมื่อเซนตริฟิวส์สารแขวนลอยจะประกอบไปด้วย ประจุบวก และไอออนของโลหะ เช่น แคลเซียมไอออน และแมกนีเซียมไอออน พวกโลหะหนักเหล่านี้ก็จะรวมอยู่ที่ก้นถังกลายเป็นกากขี้แ่งสามารถแยกออกมาได้ แต่ปริมาณของแคลเซียมที่พบในกากขี้แ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าของธาตุตัวอื่นๆ

ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและโลหะหนักในกากขี้แ่งที่ได้มีค่าแตกต่างกัน อาจเนื่องจากความแตกต่างในส่วนของการผลิต ปริมาณสารเคมี สารเคมีพวก DAHP ซึ่งใส่ลงไปใต้น้ำยางและบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง ทำให้ค่าที่ได้แตกต่างกัน (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547)

2.4 การกำจัดกากซีเมนต์

ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น กากซีเมนต์ถือว่าเป็นของเสียที่ทางโรงงานไม่ต้องการจากการศึกษาข้อมูลของโรงงานผลิตน้ำยางข้นในเขตจังหวัดสงขลาพบว่า กากซีเมนต์จะเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำยางสดที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำยางข้น กล่าวคือ จะมีของเสียในรูปกากซีเมนต์เกิดขึ้นในแต่ละโรงงานประมาณ 0.39-1.58 ตันต่อวัน ขึ้นกับขนาดการผลิต (วารสาร ฤกษ์ประสิทธิ์, 2543 และ วันชัย แก้วยอด, 2540) กากซีเมนต์ที่เกิดขึ้นจากบริเวณถังปั่นเซนตริฟิวส์ และถังตกตะกอนนั้น โดยทั่วไปแล้วโรงงานผลิตน้ำยางข้นต่างๆ จะกำจัดทิ้งโดยใช้วิธีการนำกากซีเมนต์ไปถมที่ ถนน รวมทั้งการเผาทิ้ง(สมทิพย์ คำานธีรวนิษฐ์และคณะ, 2545) ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของกากซีเมนต์ จะเห็นได้ว่าการนำไปถมที่ถือเป็นวิธีที่ประหยัด ทำให้ได้ที่ดินไปทำประโยชน์อื่น ง่ายต่อการดำเนินงาน สามารถใช้ได้ทั้งระยะสั้นและระยะยาว แต่จะมีข้อเสียคือ หากสถานที่ยากเพราะไม่มีชุมชนใดต้องการให้อยู่ใกล้ และก่อนที่จะนำไปถมที่ควรจะมีการตรวจสอบกากซีเมนต์ว่ามีความปลอดภัยจากสารเคมีที่อาจเป็นอันตรายต่อดินและสิ่งมีชีวิตบริเวณนั้น ซึ่งอาจเป็นวิธีการกำจัดที่ไม่เหมาะสม เพราะอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ และยังคงเป็นปัญหาที่รบกวนแก้ไขอย่างจริงจัง

2.6 อิฐ

ความหมายของอิฐดินเหนียว

อิฐดินเหนียว หรือ อิฐมอญ เป็นวัสดุก่อสร้างสำคัญในการก่อสร้าง มาแต่ครั้งอดีต สังเกตได้จากโบราณสถานที่มีความสำคัญในประวัติศาสตร์ ที่มีอิฐเป็นวัสดุในการก่อสร้าง และยังคงมีความสำคัญนับจากอดีตจวบจนกระทั่งปัจจุบัน ที่ยังคงบทบาทเด่นในการก่อสร้าง อาคารบ้านเรือนต่าง ทำมาจากดินเหนียว และน้ำ ในบางที่อาจมีการผสมวัสดุที่ไม่มีความเหนียว อาทิ ขี้เถ้าแกลบทราย ผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วนวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่แบบพิมพ์อัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการ ทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปเผาจนสุก ก้อนดินเหนียวจะเปลี่ยนเป็นสีส้ม หรือสีน้ำตาลทอง

ลักษณะโดยทั่วไปของอิฐชนิดนี้ จะมีลักษณะเป็นก้อนทรงเหลี่ยมมีสีแดง (บางที่เรียกว่าอิฐแดง), สีน้ำตาลทอง, สีส้ม ขนาดทั่วไปอยู่ที่ 7x15x6 เซนติเมตร ซึ่งจะได้อิฐสี่อะไรนั้นจะขึ้นอยู่กับดินเหนียวที่นำมาใช้ในการผลิต โดยการเลือกดินเหนียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำอิฐมอญนั้น มีข้อที่ควรคำนึงถึงคือ ความเหนียวของดินเพื่อให้ขึ้นรูปได้ง่าย ในธรรมชาติดินเหนียวที่มีสมบัติตามต้องการนั้นจะมีอยู่อย่างจำกัด ถึงแม้ว่าดินเหนียวหลายแหล่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตอิฐมอญได้ แต่ไม่สามารถนำมาใช้ผลิตอิฐมอญได้ทุกชนิด ดังนั้นขั้นตอนการเลือกดินเหนียวที่จะนำมาใช้ในการผลิตจะต้องมีการศึกษาคุณสมบัติของดินเหนียวนั้นๆ เพื่อเป็นตัวแปรในการควบคุมคุณสมบัติของอิฐมอญที่ผลิตด้วย

เนื่องจากขั้นตอนในการผลิตไม่ยุ่งยากซับซ้อนและวัตถุดิบหาง่ายจากธรรมชาติ ทำให้อิฐมอญมีราคาถูก และหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด จึงเป็นที่นิยมของช่างก่อสร้างมาโดยตลอด

วัตถุดิบสำคัญที่ใช้ผลิตอิฐดินเหนียว

การผลิตอิฐให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการนั้น สิ่งที่สำคัญคือการเลือกใช้วัตถุดิบที่เหมาะสมอยู่ใกล้แหล่งผลิต ซึ่งวัตถุดิบที่อ้างถึงนั้นหมายถึง ดินเหนียว เถ้า แกลบ และน้ำ

การผลิตอิฐดินเหนียว

ในการผลิตอิฐดินเหนียว หรืออิฐมอญนั้น จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบที่ผู้ผลิตหาได้ จึงทำให้อัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตของแต่ละโรงงานไม่เท่ากัน แต่กรรมวิธีในการผลิตนั้นเหมือนกัน ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีต่างๆเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตอีกด้วย จึงทำให้การผลิตครั้งเดียวได้อิฐที่มีความมาตรฐาน และขนาดใกล้เคียงกัน สะดวกต่อผู้ผลิตมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังมีชาวบ้านบางกลุ่มยังคงใช้วิธีแบบโบราณอยู่ เนื่องจากต้องการผลิตเพื่อเก็บไว้ใช้เองในครัวเรือน(นิตยสารสยามอารยะ, 2537) ซึ่งมีกรรมวิธี ดังนี้ นวดดิน อัดส่วนผสมลงแบบพิมพ์ การทอดอิฐเพื่อรอให้แห้งพอหมาดๆ และการเผาอิฐ โดยอุณหภูมิที่เผาให้สุกตัวควรอยู่ในช่วง 950-1100°C เพื่อให้อิฐมีความแข็งโดยไม่มีการหดตัวหรือผิครูปมากเกินไป ปัจจุบันมีเทคโนโลยีเข้ามามีส่วนช่วยให้กระบวนการผลิตอิฐทำได้ง่ายขึ้น ประหยัดเวลา และแรงงานขึ้น อีกทั้งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีสัดส่วน รูปร่างใกล้เคียงกัน และผลิตได้คราวละมากๆ ซึ่งเหมาะสำหรับโรงงานผลิตอิฐที่มียอดการจำหน่ายสูงเป็นอย่างมาก

คุณสมบัติมาตรฐานของอิฐ

คุณสมบัติโดยทั่วไปของอิฐนั้น ได้ถูกกำหนดให้มีลักษณะตรงตามมาตรฐานการทดสอบหลายประเภทด้วยกัน อาทิเช่น ซึ่งมาตรฐานการทดสอบ American Society of Testing Material (ASTM), British Standards (BS) เป็นต้น ซึ่งประเทศไทยก็มีการกำหนดมาตรฐานด้วยเช่นกัน คือมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย โดยมีรายละเอียดดังนี้

ขนาด

ลักษณะโดยทั่วไปของอิฐมอญมีรูปทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งมีขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 7×15×6 เซนติเมตรมีความคลาดเคลื่อนของความกว้าง ความยาว และความหนาไม่เกิน ±5 มิลลิเมตร แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับการผลิตของแต่ละโรงงาน ซึ่งก้อนอิฐต้องเป็นก้อนสมบูรณ์ ไม่บิดเบี้ยว และไม่มีรอยแตกร้าว แต่อาจบิ่นได้เล็กน้อย โดยส่วนใหญ่มีสีน้ำตาลแดง หรือสีส้ม ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดินเหนียวและวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิต โดยอิฐมอญจะมีจำนวนการใช้งานอยู่ที่ประมาณ 120-130 ก้อนต่อหนึ่งตารางเมตร

ความแข็งแรง

ความแข็งแรงของอิฐมอญนั้นสามารถทำการทดสอบ โดยทำการทดสอบกำลังรับแรงกดอัด (Compressive Strength Test) ได้ตามมาตรฐาน ASTM C495 ซึ่งอิฐตัวอย่างจะต้องมีความต้านทานแรงกดอัดไม่น้อยกว่า 7 เมกะพาสคัล หรือไม่น้อยกว่า 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจากการนำตัวอย่างมาทดสอบจริงแล้วพบว่าโดยทั่วไปอิฐมอญจะมีค่ากำลังรับแรงกดอัด (Compressive Strength Test) ประมาณ 15-40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C495 (กรมวิทยาศาสตร์บริการ อ้างอิงจาก เว็บไซต์ <http://www.dss.go.th>)

ค่าการดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Absorption Test) เป็นการตรวจวัดคุณสมบัติของอิฐอีกหนึ่งประการ ทำให้เราทราบถึงปริมาณความพรุน เนื่องจากความพรุนเป็นอีกหนึ่งตัวแปรสำคัญที่จะแสดงให้เห็นว่าอิฐมีความคงทน หรือเปราะบาง อีกทั้งยังเป็นตัวชี้ถึงปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการผสมปูนก่อ ซึ่งถ้ามีค่ามากแสดงว่าอิฐชนิดนั้นๆจะดูดซึมน้ำจากปูนก่อ หรือปูนฉาบมาก ซึ่งจะส่งผลทำให้การยึดติดกันของอิฐแต่ละก้อนไม่ดี และอาจทำให้เกิดการแตกร้าวของปูนฉาบได้ โดยตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดไว้ว่าค่าการดูดซึมน้ำ (Absorption Test) ต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับน้ำหนักของอิฐตัวอย่าง ทั้งนี้อิฐที่ไม่ได้มาตรฐานนั้นอาจเกิดการเปื่อยยุ่ยได้ ซึ่งไม่เหมาะต่อการนำมาใช้ในการก่อสร้าง เพราะอาจก่อให้เกิดการหักพังของโครงสร้าง ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้อยู่อาศัยได้

ค่าการหดตัวแบบแห้ง

ค่าการหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) สามารถคำนวณได้จากความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับความยาวเริ่มต้น ซึ่งคำนวณเพื่อทำให้ทราบถึงขนาดจริงของอิฐที่จะนำมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากอิฐที่มาจากกระบวนการผลิตนั้นจะต้องมีการนำมาตากแห้ง และผ่านการเผาด้วย จึงทำให้น้ำที่ผสมอยู่ในส่วนผสมระเหยออกไป ดังนั้นอิฐจึงเกิดการหดตัว ซึ่งจากการนำอิฐตัวอย่างมาทดสอบพบว่าอิฐตัวอย่างมีค่าการหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) เท่ากับ 1.8 มิลลิเมตรต่อเมตร ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C426

อัตราการทนไฟ

การเกิดอัคคีภัยก่อให้เกิดความเสียหายทั้งตัวอาคารรวมถึงผู้พักอาศัยในเวลาอันรวดเร็ว เนื่องจากธรรมชาติของไฟนั้นสามารถลุกลามได้อย่างรวดเร็ว จากเพลิงขนาดเล็กเป็นเพลิงขนาดใหญ่ได้ภายในเวลาไม่กี่นาที ดังนั้นโครงสร้างอาคารจึงควรที่จะออกแบบให้สามารถทนไฟได้เพื่อช่วยป้องกันการแพร่ขยายของเพลิงได้ ซึ่งมาตรฐานการทดสอบที่นิยมใช้ในการทดสอบอัตราการทนไฟ (Fire Rating) คือมาตรฐาน American Society of Testing Material (ASTM) และ British Standards (BS) โดยจากการนำอิฐตัวอย่างมาทดสอบพบว่า อิฐมอญสามารถทนไฟได้ 1-2 ชม. โดยยังคงสภาพอยู่ได้ดี ไม่แตกหักเสียหาย ทำการทดสอบตามมาตรฐาน BS476

2.6 กระดาษต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้

ปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบของกระดาษปลูกต้นไม้มากมายหลายแบบ ซึ่งมีข้อดี-ข้อด้อยแตกต่างกันออกไป กระดาษเซรามิกมักมีราคาแพง แต่ให้สีสันสดใสอุ้มน้ำได้ดี แต่ความพรุนต่ำ มีน้ำหนักมาก รวมถึงกระดาษดินเผาปกติซึ่งแม้มีราคาถูกกว่า แต่ความแข็งแรงน้อยกว่าและมีน้ำหนักมากเช่นกัน กระดาษพลาสติกมีราคาปานกลางน้ำหนักเบาแต่ไม่มีความพรุน และร้อน ทำให้ปลูกต้นไม้ได้ดีสู่กระดาษปกติไม่ได้ ดังนั้นหากสามารถพัฒนากระดาษที่มีความสวยงาม น้ำหนักเบา ความพรุนสูง อุ้มน้ำดี จะเป็นที่ต้องการของผู้ใช้งานเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้ได้ใกล้เคียงกับชิ้นงานอิฐดินเหนียวที่ผสมกากซีเป็งที่ได้ศึกษาทดลองเบื้องต้นไปแล้ว

3. ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บตัวอย่างกากซีเป็งจากโรงงานน้ำยางชั้น

ตัวอย่างกากซีเป็งได้ทำการเก็บจาก โรงงาน โรงงานน้ำยางชั้นแห่งหนึ่งในจังหวัดสงขลา โดยเก็บตัวอย่างจากจุดรวมกากซีเป็ง ซึ่งเป็นจุดที่รวบรวมกากซีเป็งก่อนนำไปทิ้ง

3.2 การเตรียมกากซีเป็ง

3.2.1 การเตรียมกากซีเป็งอบแห้ง

- 1.) นำกากซีเป็งที่ได้จากโรงงานมาตากแดดประมาณ 2-3 วัน (รูปที่ 3.1 ก)
- 2.) นำกากซีเป็งที่ผ่านการตากแล้ว อบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อบจนกระทั่งกากซีเป็งแห้งสนิท เป็นเวลาประมาณ 24-48 ชั่วโมง (รูปที่ 3.1 ข)
- 3.) นำกากซีเป็งที่อบแห้งแล้วมาบดเป็นผงละเอียด เพื่อใช้ในการทำกระดาษต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้

3.2.2 การเตรียมกากซีเป็งที่ผ่านการร่อน

- 1.) นำกากซีเป็งอบแห้งที่บดละเอียดแล้ว ร่อนผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 20 40 60 และ 80 โดยที่กากซีเป็งส่วนนี้จะเลือกใช้ตะแกรงเบอร์ 40 (ผลการศึกษาเบื้องต้น) สำหรับทำกระดาษต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้ประเภทสุตรที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรง



ก.

ข.

รูปที่ 3.1 ก.การตากกากจี้เป๋ง ข.การอบกากจี้เป๋ง

3.2.3 วิธีการทำกระถางต้นไม้ และอิฐปลูกกล้วยไม้

1. การทำกระถางต้นไม้ทำการปั้นขึ้นรูป โดยใช้สูตรผสม 3 แบบด้วยกัน ดังนี้
 - 1.) กระถางต้นไม้ขึ้นรูปด้วยดินเหนียว 100 เปอร์เซ็นต์
 - 2.) ทดลองสูตรผสมกระถางต้นไม้ขึ้นรูปโดยผสมดินเหนียวต่อกากจี้เป๋ง 60:40, 70:30 และ 80:20
 - 3.) กระถางต้นไม้ขึ้นรูปโดยผสมดินเหนียวต่อกากจี้เป๋ง 60:40, 70:30 และ 80:20 (ดินเหนียวและกากจี้เป๋งผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 40)การทำอิฐปลูกกล้วยไม้ปั้นขึ้นรูป โดยใช้สูตรผสม 2 แบบด้วยกัน ดังนี้
 - 1.) อิฐปลูกกล้วยไม้ขึ้นรูปโดยผสมดินเหนียวต่อกากจี้เป๋ง ที่ได้จากการทำกระถาง
 - 2.) อิฐปลูกกล้วยไม้ขึ้นรูปโดยผสมดินเหนียวต่อกากจี้เป๋ง ที่ได้จากการทำกระถาง (ดินเหนียวและกากจี้เป๋งผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 40)
2. ขั้นตอนการทำกระถางต้นไม้ และอิฐปลูกกล้วยไม้
 - 1.) การหมักดิน เป็นการเพิ่มความเหนียวให้กับดิน โดยนำดินเหนียวมาหมักไว้ในถังพลาสติก ใช้น้ำผสมประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของดิน เป็นระยะเวลา 1-2 วัน (รูปที่ 3.2 ก)
 - 2.) การเกรอะดิน เป็นการดูความชื้นออกจากดินเหนียวที่ผ่านการหมัก โดยนำดินเหนียวที่ผ่านการหมักมาใส่ในถ้วยดูความชื้น เป็นระยะเวลา 1-2 วัน (รูปที่ 3.2 ข)

- 3.) การนวดดิน เป็นการเพิ่มความเหนียวให้กับดินเหนียว เพื่อให้ง่ายต่อการปั้นขึ้นรูป โดยนำดินเหนียวที่ผ่านการเกรอะมาใส่ในเครื่องนวดดิน การผสมกากขี้เถ้ากับดินเหนียวนั้นทำการผสมโดยใช้เครื่องนวดดินช่วยในการผสม (รูปที่ 3.2 ก)
- 4.) การปั้นกระถางต้นไม้ ทำการปั้นโดยใช้เครื่องปั้นแบบหมุน โดยอาศัยช่างปั้นที่มีความชำนาญในการปั้นขึ้นรูปกระถาง (รูปที่ 3.2 ก และ ข)
- 5.) การปั้นอิฐปลุกกล้วยไม้ ปั้นโดยใช้ดินเหนียวต่อกากขี้เถ้า สัดส่วนต่างๆ ปั้นเป็นก้อนกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร (รูปที่ 3.2 ค)
- 6.) นำกระถางต้นไม้และอิฐปลุกกล้วยไม้ที่ปั้นแล้ว มาเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 3.2 ก. การหมักดิน ข.การเกรอะดิน ค.การนวดดิน



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 3.3 ก. การปั้นกระถาง ข. กระถางขึ้นรูปแล้ว ค. อิฐปลุกกล้วยไม้

วิธีการทดสอบกระถางต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้

3.2.4 การทดสอบกระถางต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้โดยนำมาปลูกพืช

- 1.) ชุดกระถางและอิฐปลูกกล้วยไม้ที่ใช้ทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุด
 - ขึ้นรูปด้วยดินเหนียว 100 เปอร์เซ็นต์
 - ขึ้นรูปด้วยดินเหนียวต่อกากจี้เป้ง
 - ขึ้นรูปด้วยดินเหนียวต่อกากจี้เป้งผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 40 ที่เลือกจากการทดลองที่ 3.2
- 2.) การปลูกพืช
 - พืชที่นำมาปลูกเป็นต้นมะลิ และกล้วยไม้โดยมาจากแหล่งและอายุเดียวกัน
 - ดินและอิฐปลูกกล้วยไม้ที่ใช้เป็นดินร่วนและอิฐกล้วยไม้ทั่วไปตามท้องตลาดโดยควบคุมชนิดเดียวกันทุกชุดการทดลอง
 - ทำการรดน้ำวันละ 2 ครั้ง ในตอนเช้าและในตอนเย็น
- 3.) การเก็บข้อมูลและการวัดผล
 - ทำการเก็บข้อมูลพืชที่ปลูกเดือนละ 4 ครั้ง โดยใช้ระยะเวลาศึกษาทั้งหมด 3 เดือน
 - การวัดผลโดยสังเกตและเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของพืชในแต่ละชุดการทดลอง โดยสังเกตจากลักษณะใบ ลักษณะสี ความสูง ความยาวของราก ฯลฯ

3.2.5 การทดสอบการชะละลายกระถางและอิฐปลูกกล้วยไม้

- 1.) นำกระถางและอิฐปลูกกล้วยไม้แต่ละชุดการทดลอง (ขนาดจริง) อบแห้ง ชั่งน้ำหนัก แช่ในน้ำกลั่นในสัดส่วนน้ำหนักกระถางต่อน้ำหนักน้ำไม่น้อยกว่า (1:15) เก็บน้ำตัวอย่างทุกๆ 7 วัน มี 2 ชุดทดลอง(เปลี่ยนและไม่เปลี่ยนน้ำ)โดยธาตุอาหารที่ถูกชะละลายออกมาจะเทียบกับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่แช่น้ำ
- 2.) ตัวแปรที่ใช้ทดสอบการชะละลายของธาตุอาหาร ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม

3.2.6 วิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหาร

วิธีวิเคราะห์โพแทสเซียม

1.) หลักการ

วิเคราะห์หาปริมาณ โดยวิธี Flame Photometer เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน โดยใช้ตัวอย่างปฏีที่ผ่านขบวนการย่อยสลายด้วยกรดผสม

2.) เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์

- เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- เครื่องบดตัวอย่างปฏี
- เครื่อง Flame Photometer
- คู่มือ
- เครื่องเขย่า (Shaker)
- เตาระเหยความร้อน (Hot plate)
- เครื่องแก้ว และวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในการปฏิบัติการวิเคราะห์

3.) สารเคมี

- สารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียม 1000 ppm
- CaCO_3
- HCL
- HNO_3
- HClO_4

4.) วิธีการ

เตรียมสารเคมี สารละลาย Suppressor

- ชั่ง CaCO_3 12.5 g ใส่ใน Beaker ขนาด 200 ml ใส่น้ำให้พอท่วม CaCO_3 เติมกรดเกลือเข้มข้น (conc. HCL) จำนวน 105 ml ลงไปที่ละน้อย
- ต้มพอเดือด ทิ้งไว้ให้เย็น
- ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นใน Volumetric flask ขนาด 1,000 ml เขย่าให้เข้ากัน

5.) การวิเคราะห์

- ช่างตัวอย่างป้อนให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 0.5xxx g ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml
- เติมกรดผสม (HNO₃ conc. กับกรด HClO₄ conc. อัตราส่วน 1:1) จำนวน 20 ml นำไปย่อยบนเตาระเหยความร้อนอุณหภูมิประมาณ 220 องศาเซลเซียส จนเกิดควันสีขาว ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- ถ่ายตัวอย่างใส่ Volumetric flask ขนาด 250 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
- ปิเปตสารละลายตัวอย่าง ให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ (0-25 ppm) ใส่ลงใน Volumetric flask ขนาด 100 ml
- เติมสารละลาย Suppressor 10 ml
- ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากันนำไปวัดด้วยเครื่อง Flame photometer เทียบกับสารละลายมาตรฐาน 0-25 ppm ที่เตรียมไว้ แล้วนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณ

6.) การคำนวณ

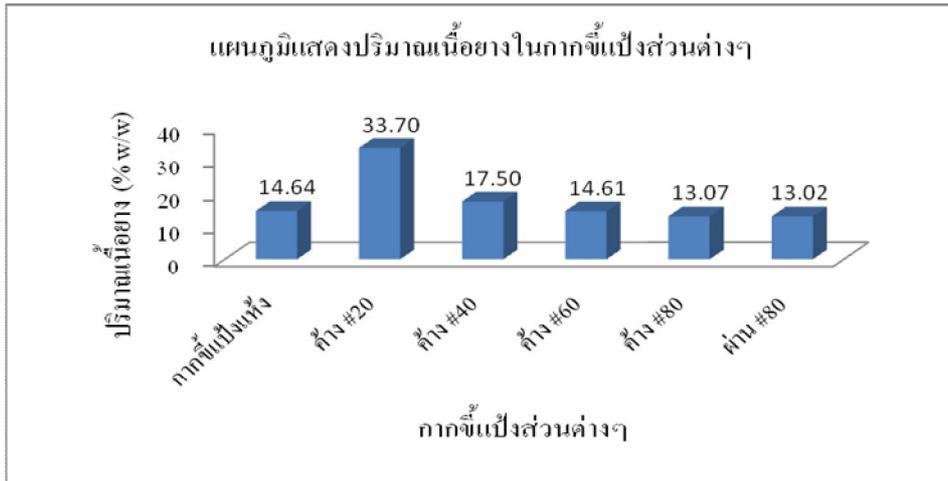
$$\%K_2O = 1.2046 \times \text{ppm K} \times \text{dilution factor} \times 100$$

*การวิเคราะห์โลหะหนัก ใช้วิธีเดียวกันกับการวิเคราะห์โพแทสเซียม

4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

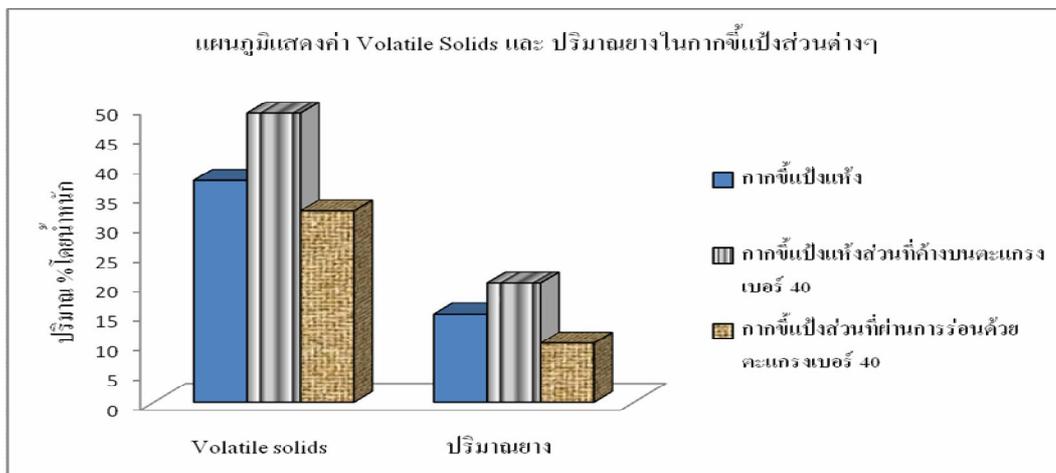
4.1 การเตรียมกากชี้แป้ง

กากชี้แป้งที่นำมาใช้สำหรับเป็นส่วนผสมของกระถางต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้ นั้นต้องทำให้แห้งและนำไปบด จากนั้นทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ เพื่อศึกษาปริมาณเนื้อเยื่อและปริมาณธาตุอาหาร เพื่อเป็นทางเลือกในการนำไปขึ้นรูปเป็นกระถางต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้ จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อนำกากชี้แป้งที่บดแล้วไปร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ จะมีเนื้อเยื่อที่ตรวจวัดด้วยวิธี TGA บางส่วนที่ติดและที่ผ่านตะแกรงไปได้ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.1) แต่จะมีความแตกต่างไม่มากเมื่อตะแกรงมีขนาดเล็กมากตั้งแต่เบอร์ 40 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคยางจับรวมตัวกันมีขนาดใหญ่กว่าสารประกอบที่ปนเปื้อนอยู่ซึ่งมักเป็นสารจำพวกอนินทรีย์



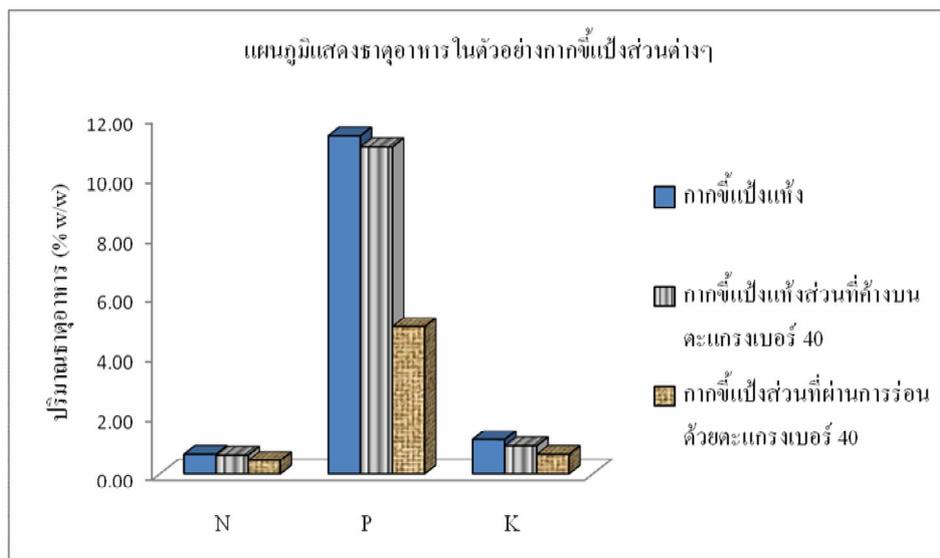
รูปที่ 4.1 ปริมาณเ็น้อยในกากซีเมนต์ส่วนต่างๆตรวจวัดด้วยวิธี TGA

ผลจากการศึกษาสอดคล้องกับการวิเคราะห์ในรูปแบบของปริมาณสารอินทรีย์ระเหยได้ (Volatile solid) พบว่าปริมาณของเ็นระเหยซึ่งใช้เป็นดัชนีชี้วัดสารอินทรีย์หรือเ็น้อยซึ่งเป็นสารอินทรีย์หลักในกากซีเมนต์มีอยู่เฉลี่ย 37.51% เมื่อร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 พบว่าสามารถแยกมวลสารขนาดเล็กได้ประมาณ 73% ของกากซีเมนต์แห้ง ซึ่งมีปริมาณของเ็นระเหยเหลืออยู่เฉลี่ย 32.4% ซึ่งน้อยกว่าก่อนร่อน ส่วนที่ติดค้างบนตะแกรงมีประมาณ 27% เมื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณของเ็นระเหยพบว่ามีปริมาณ 49% ซึ่งมากกว่ากากซีเมนต์เดิมประมาณ 10% แสดงให้เห็นว่ามีเ็นสารอินทรีย์หรืออีกนัยคือเ็น้อยเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการร่อนแยกสามารถแยกเ็น้อยได้ และสอดคล้องกับค่าที่วัดด้วยวิธี TGA ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ดังนั้นชุดทดลองในสูตรผสมต่างๆจะเลือกใช้กากซีเมนต์ที่ร่อนผ่านและไม่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 เป็นการเตรียมส่วนผสมในการทำกระถางและรูปที่ 4.2 ค่าของเ็นระเหยง่าย (Volatile solids) และปริมาณเ็นในกากซีเมนต์ส่วนต่างๆ อธิบายต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 ค่าของเ็นระเหยง่าย (Volatile solids) และปริมาณเ็นในกากซีเมนต์ส่วนต่างๆ

เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารหลักในการเจริญเติบโตของพืชในกากจี้แบ่งส่วนต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการร่อนตะแกรงเบอร์ 40 ผลการตรวจวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.3 จากข้อมูลสังเกตได้ว่ากากจี้แบ่งทั้ง 3 ส่วน คือ (1) กากจี้แบ่งแห้ง (2) กากจี้แบ่งส่วนที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 40 (3) กากจี้แบ่งส่วนที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 40 มีธาตุฟอสฟอรัสสูงที่สุดคือประมาณ 11.38 % w/w, 11.02 % w/w และ 4.95 % w/w ตามลำดับ มีธาตุโพแทสเซียมรองลงมาประมาณ 1.16 % w/w, 0.95 % w/w และ 0.67 % w/w ตามลำดับ มีธาตุไนโตรเจนน้อยที่สุดคือ 0.67 % w/w, 0.64 % w/w และ 0.46 % w/w ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 ธาตุนี้เป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ธาตุอาหารหลักโดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสนั้นมีอยู่ในของเสี้ยกากจี้แบ่งทั้ง 3 ส่วนที่ทำการทดสอบ โดยพบในกากจี้แบ่งแห้งและกากจี้แบ่งส่วนที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 40 ในปริมาณใกล้เคียงกัน และพบน้อยสุดในกากจี้แบ่งส่วนที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงแสดงให้เห็นว่าฟอสฟอรัสส่วนมากอยู่รวมในส่วนที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อซึ่งค้ำอยู่มากกว่าในจี้แบ่งที่ยังไม่ร่อน และบนตะแกรงเบอร์ 40 และเป็นแนวโน้มเดียวกันกับธาตุอาหารอื่นๆด้วย



รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณธาตุอาหารในกากจี้แบ่งส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.3 สังเกตได้ว่าในกากจี้แบ่งแห้งนั้นธาตุอาหารที่พบสูงสุดคือ ธาตุฟอสฟอรัส รองลงมาคือธาตุโพแทสเซียม และธาตุไนโตรเจนพบในปริมาณน้อยที่สุด

4.2 ลักษณะของกระถางต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้

กระถางต้นไม้ทั้ง 3 สูตรผสม พบว่าสูตรที่สามารถขึ้นรูปได้ง่ายและเผาโดยมีการแตกร้าว น้อยที่สุดคือปริมาณสัดส่วนระหว่างดินเหนียวและกากซีเมนต์ 80:20 อย่างไรก็ตามปริมาณสัดส่วนของซีเมนต์ ร้อยละ 20 นี้มีปริมาณของกากซีเมนต์ที่มากกว่าดินเหนียวเนื่องจากน้ำหนักที่เบา มากนั่นเอง เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของกระถางหลังเผาแล้วพบว่ากระถางที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดคือ กระถางสูตรที่ 2 มีค่าความหนาแน่น 1.43 g/cm^3 ซึ่งใช้ส่วนผสมของดินเหนียว:กากซีเมนต์ 80:20 ส่วนกระถางสูตรที่ 3 มีค่าความหนาแน่น 1.55 g/cm^3 ซึ่งใช้ส่วนผสมของดินเหนียว:กากซีเมนต์ 80:20 (ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 40) และกระถางที่มีความหนาแน่นสูงสุดคือ กระถางสูตรที่ 1 มีค่าความหนาแน่น 1.67 g/cm^3 ซึ่งขึ้นรูปโดยใช้ดินเหนียว 100 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าความหนาแน่นมีผลต่อน้ำหนักของกระถาง กระถางสูตรต่างๆที่เผาแล้วแสดงดังรูปที่ 4.4

เมื่อพิจารณาลักษณะความพรุนตัวของกระถางทั้ง 3 สูตร โดยใช้เทคนิค (Scanning electron microscope, SEM) (รูปที่ 4.5-4.7) พบว่า กระถางสูตร 2 มีลักษณะความพรุนสูงที่สุด รองลงมาคือ กระถางต้นไม้สูตรที่ 3 ส่วนกระถางต้นไม้สูตรที่ 1 นั้นมีความพรุนน้อยที่สุด ซึ่งคาดการณ์ในเบื้องต้นได้ว่าความพรุนตัวจะส่งผลต่อการระงับละลายธาตุอาหารที่มีอยู่ภายในกระถางต้นไม้ได้

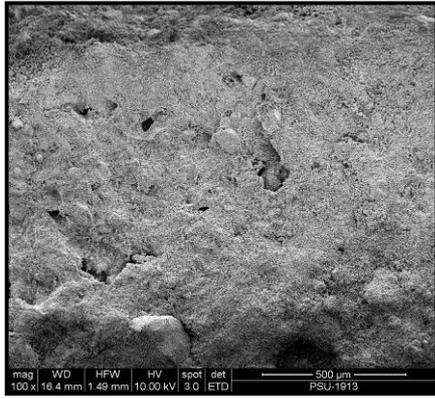


ก.

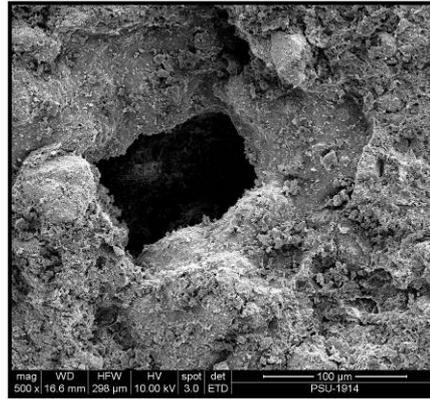
ข.

ค.

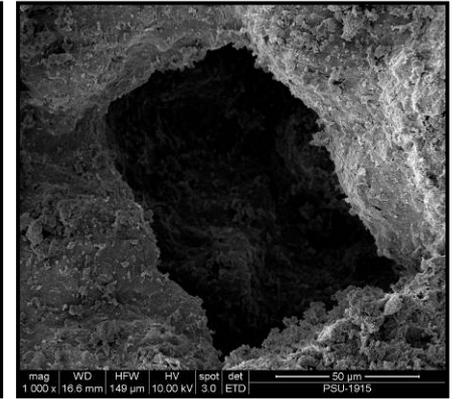
รูปที่ 4.4 ก. กระถางต้นไม้ สูตร 1 ข.สูตร 2 ค สูตร 3



ก.

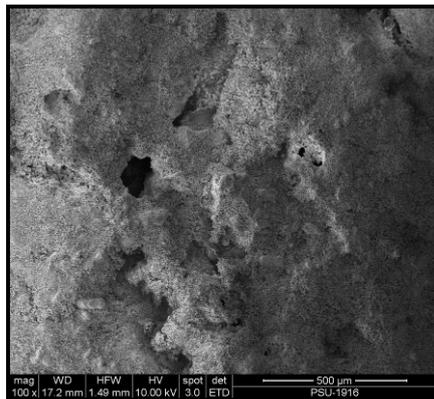


ข.

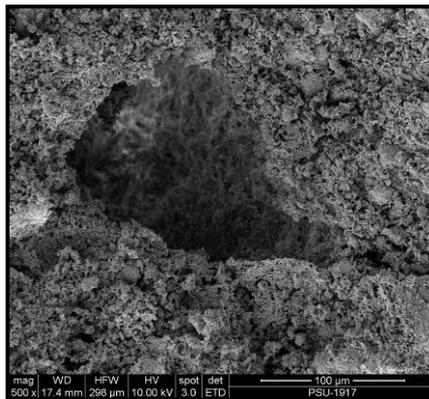


ค.

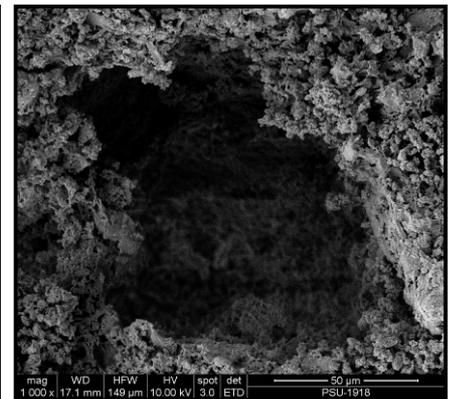
รูปที่ 4.5 SEM ของกระถางสูตร 1 ดินเหนียวอย่างเดียว
 ก.กำลังขยาย 100 เท่า ข.กำลังขยาย 500 เท่า ค.กำลังขยาย 1000 เท่า



ก.

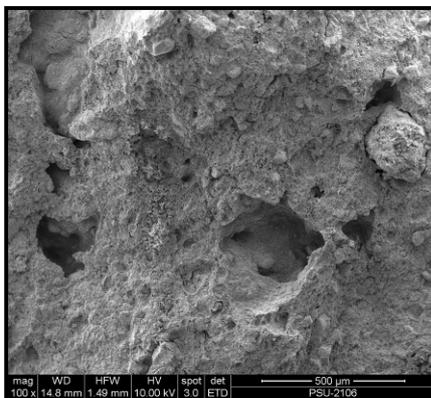


ข.

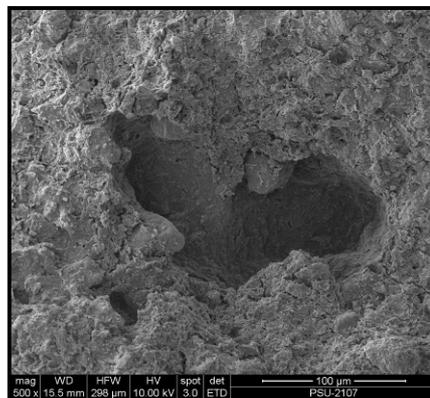


ค.

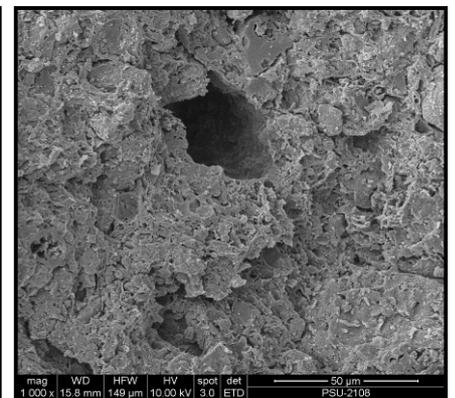
รูปที่ 4.6 SEM ของกระถางสูตร 2 ดินเหนียว : กากซีเมนต์ (80:20)
 ก.กำลังขยาย 100 เท่า ข.กำลังขยาย 500 เท่า ค.กำลังขยาย 1000 เท่า



ก.



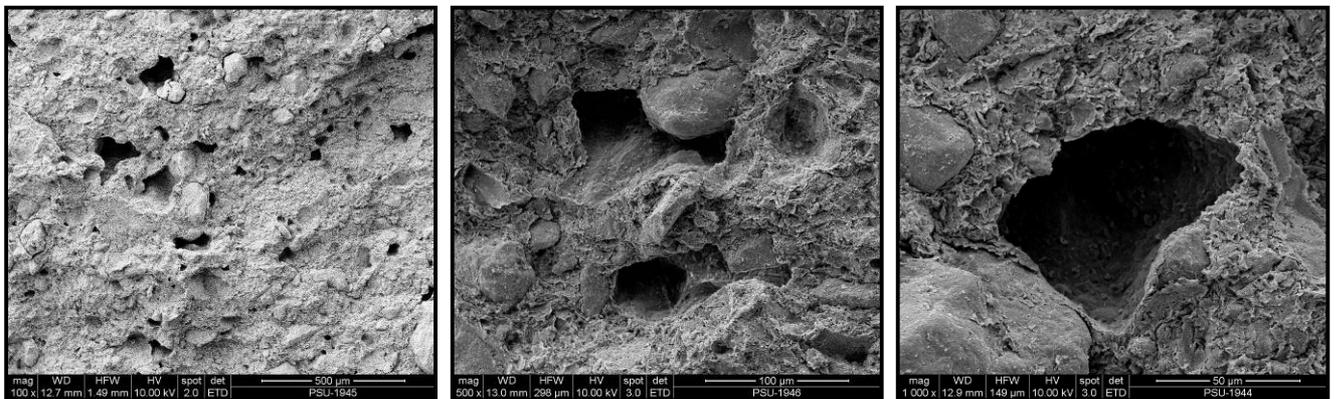
ข.



ค.

รูปที่ 4.7 SEM ของกระถางสูตร 3 ดินเหนียว : กากซีเมนต์ (80:20) โดยร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40
 ก.กำลังขยาย 100 เท่า ข.กำลังขยาย 500 เท่า ค.กำลังขยาย 1000 เท่า

ในขณะที่อิฐปลุกกล้วยไม้จากสูตรเดียวกับการทำกระถางปลูกต้นไม้และเผา มีการนำหินภูเขาไฟที่ขายตามท้องตลาดมาเปรียบเทียบ ผลการเปรียบเทียบสอดคล้องกับกระถางในเรื่องของความหนาแน่น แต่หินภูเขาไฟจะมีความหนาแน่นน้อยที่สุด กล่าวคือ มีความเบามากแต่แตกหักได้ง่าย ทั้งนี้จากการหาค่าความหนาแน่นของอิฐปลุกกล้วยไม้พบว่า หินภูเขาไฟที่ขายตามท้องตลาดมีความหนาแน่นน้อยที่สุดซึ่งมีค่าความหนาแน่น 0.85 g/cm^3 ถัดมาคืออิฐปลุกกล้วยไม้สูตร 3 มีค่าความหนาแน่น 1.90 g/cm^3 ถัดมาคืออิฐปลุกกล้วยไม้สูตร 2 มีค่าความหนาแน่น 1.94 g/cm^3 และอิฐปลุกกล้วยไม้สูตร 1 มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุดซึ่งมีค่าความหนาแน่น 1.98 g/cm^3 เมื่อพิจารณาลักษณะความพรุนของอิฐปลุกกล้วยไม้สูตรต่างๆ รวมทั้งหินภูเขาไฟพบว่าหินภูเขาไฟมีความพรุนสูงที่สุด รองลงมาคืออิฐปลุกกล้วยไม้สูตร 3 รองถัดลงมาคืออิฐปลุกกล้วยไม้สูตรที่ 2 ส่วนอิฐปลุกกล้วยไม้สูตร 1 มีความพรุนน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.8-4.11



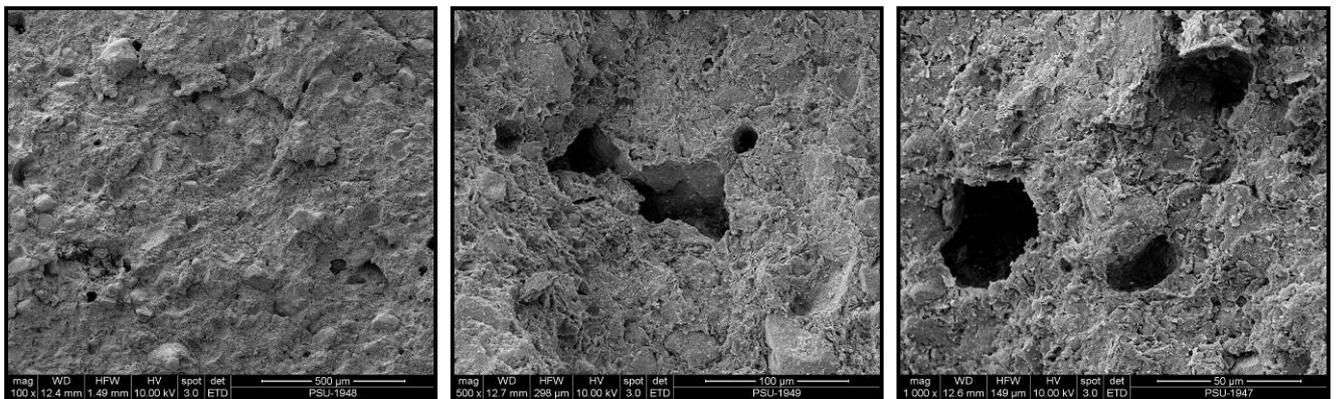
ก.

ข.

ค.

รูปที่ 4.8 อิฐปลุกกล้วยไม้สูตร 1 (ดินเหนียวอย่างเดียว)

ก.กำลังขยาย 100 เท่า ข.กำลังขยาย 500 เท่า ค.กำลังขยาย 1000 เท่า



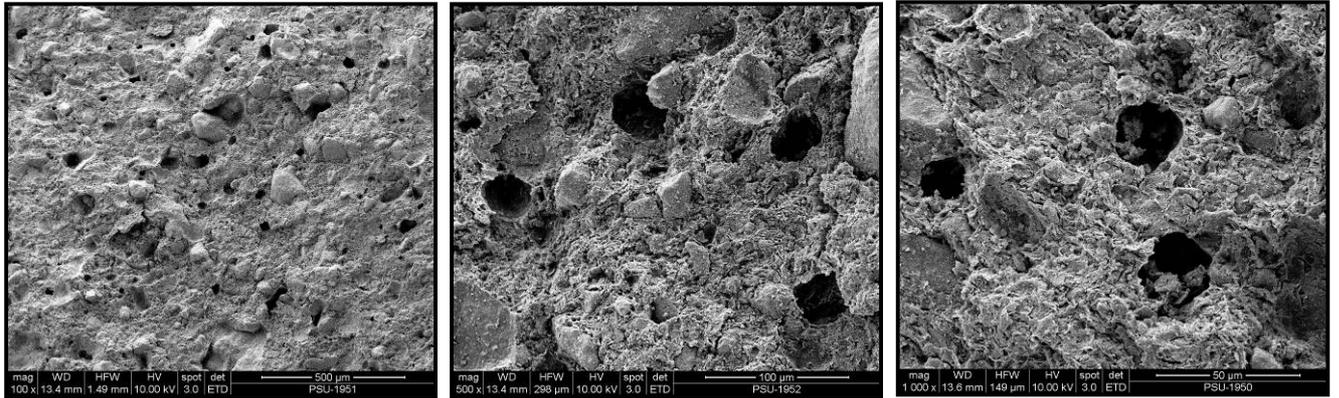
ก.

ข.

ค.

รูปที่ 4.9 อิฐปลุกกล้วยไม้สูตร 2 ดินเหนียว : กากจี้แป้ง (80:20)

ก.กำลังขยาย 100 เท่า ข.กำลังขยาย 500 เท่า ค.กำลังขยาย 1000 เท่า

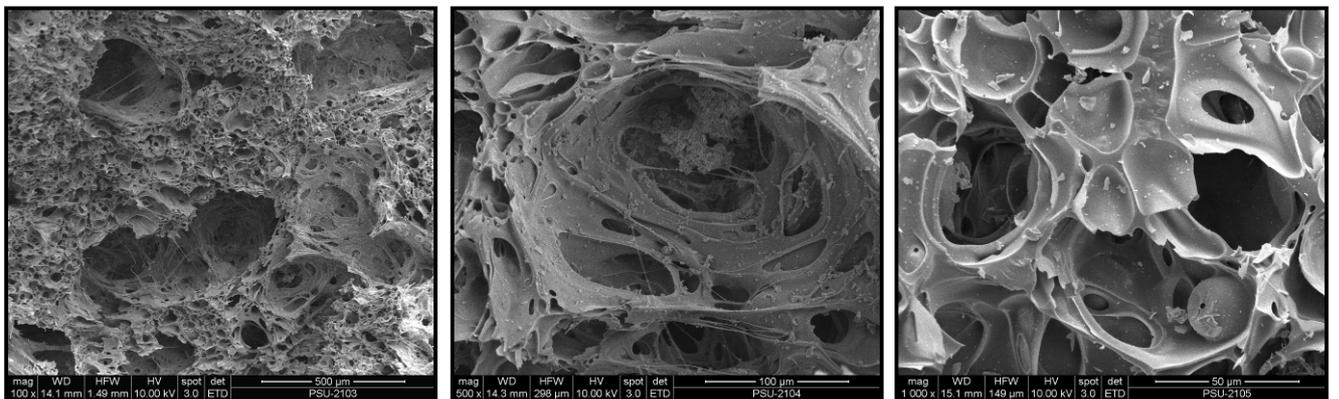


ก.

ข.

ค.

รูปที่ 4.10 อิฐปลูกกล้วยไม้สูตร 3 दिनเหนียว : กากจีแป็ง (80:20) ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40
 ก.กำลังขยาย 100 เท่า ข.กำลังขยาย 500 เท่า ค.กำลังขยาย 1000 เท่า



ก.

ข.

ค.

รูปที่ 4.11 หินภูเขาไฟที่ขายตามท้องตลาด

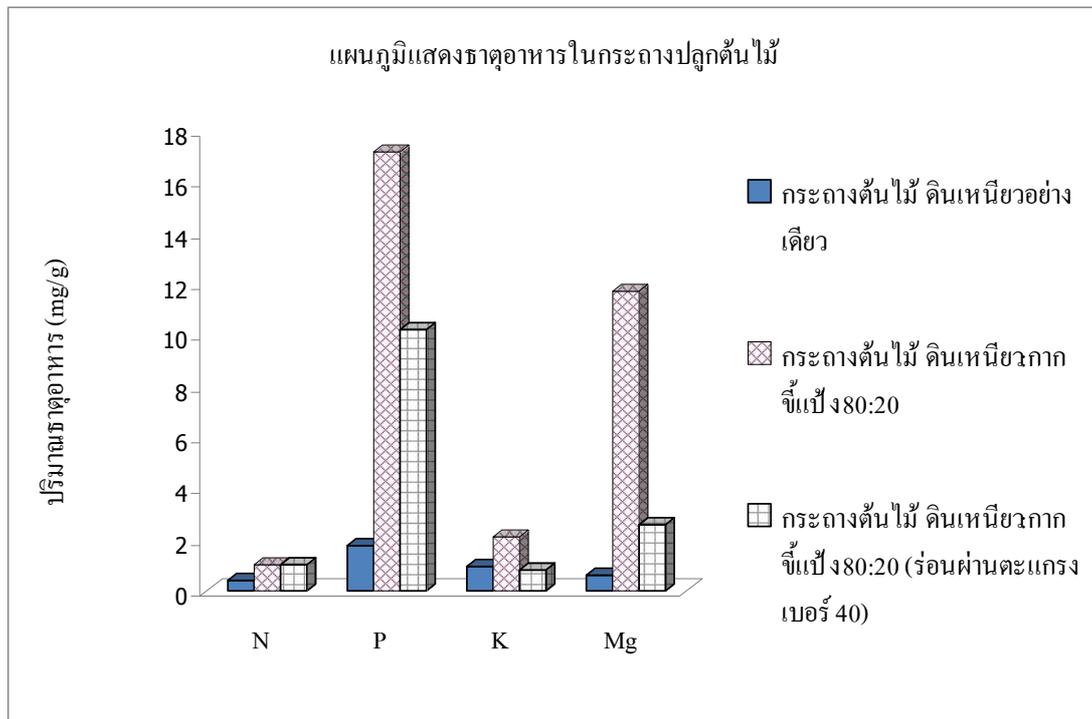
ก.กำลังขยาย 100 เท่า ข.กำลังขยาย 500 เท่า ค.กำลังขยาย 1000 เท่า

จะเห็นได้ว่าหินภูเขาไฟที่ขายตามท้องตลาดมีคุณสมบัติด้านความพรุนสูงน้ำหนักเบา นิยมใช้ปลูกกล้วยไม้ทั่วไป แต่จากการทดลองปลูกกล้วยไม้พบว่ามีการระเหยของน้ำสูงมากกว่าสูตรผสมสังเคราะห์ที่มีกากจีแป็งเป็นส่วนผสม

4.3 การชะละลายธาตุอาหาร

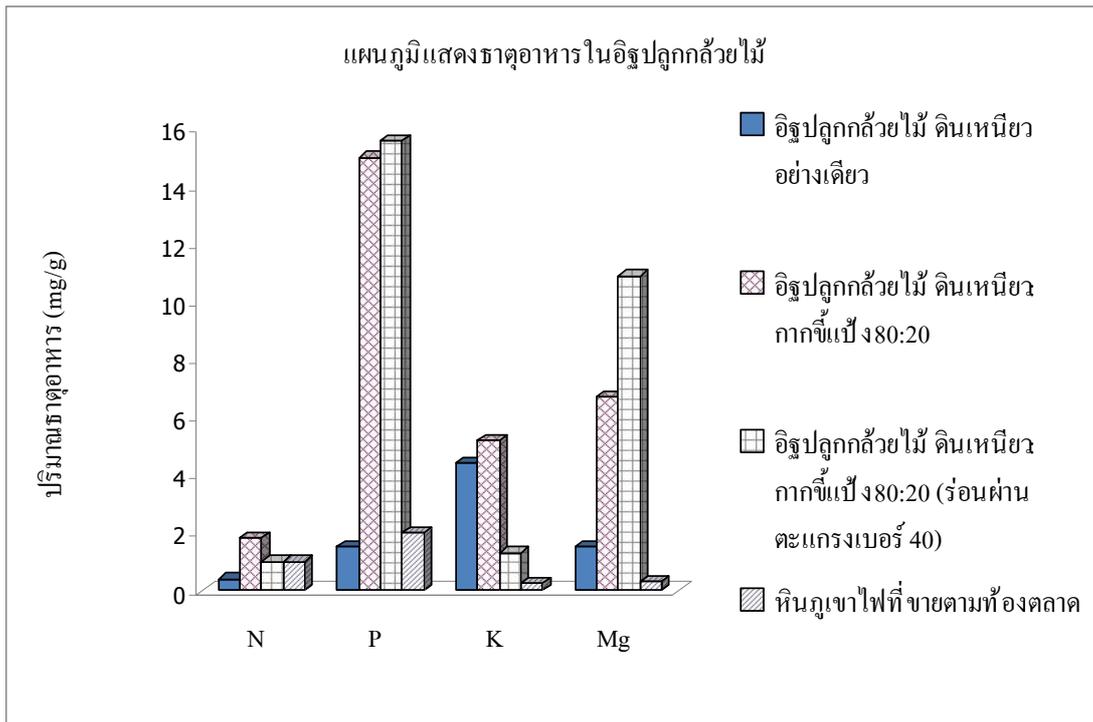
ในเบื้องต้นได้ทำการศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่ยังคงมีอยู่หลังจากการเผาด้วยความร้อนประมาณ 800-1000 °C เพื่อให้กระถางต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้มีความคงทน โดยกระถางต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้แต่ละสูตรผสมมีปริมาณธาตุอาหาร แสดงให้เห็นว่าหลังการเผาที่อุณหภูมิสูง

ตัวเนื้อยาง ได้สลายตัวเนื่องจากเป็นสารอินทรีย์และทิ้งไว้ซึ่งร่องรอยของความพรุนตัวของกระดาษ และอิฐปลุกกล้วยไม้ดังแสดงในผลการวิเคราะห์ SEM ที่ได้แสดงให้เห็นแล้วในหัวข้อ 4.2 แต่ยังคงมีธาตุอาหารหลักคือ P และ K นอกจากนี้ยังมีธาตุอาหารรองอยู่มากคือ Mg ซึ่งมีอยู่มากในกระบวนการกากจีแป็งและ Ca เล็กน้อย ที่ขาดอยู่ก็เห็นจะเป็นธาตุ N ซึ่งพบเพียงปริมาณเล็กน้อย ตั้งแต่การเตรียมตัวอย่างกากจีแป็งจนกระทั่งการผลิตเป็นกระดาษและอิฐปลุกกล้วยไม้ และกล่าวได้ว่ากระดาษและอิฐปลุกกล้วยไม้สูตรที่ผสมกากจีแป็งมีธาตุอาหารสูงกว่ากระดาษและอิฐปลุกกล้วยไม้ที่ทำจากดินเหนียวอย่างเดียวย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ปริมาณธาตุอาหารในกระดาษต้นไม้สูตรต่างๆ

จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในกระดาษต้นไม้ทั้ง 3 สูตร กระดาษสูตรที่ 2 ซึ่งใช้ส่วนผสมดินเหนียว:กากจีแป็ง 80:20 มีปริมาณธาตุอาหารในตัวกระดาษสูงสุด รองลงมาคือกระดาษสูตรที่ 3 ซึ่งใช้ส่วนผสมดินเหนียว:กากจีแป็ง 80:20 (โดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40) และกระดาษที่มีธาตุอาหารต่ำสุดคือกระดาษสูตรที่ 1 ซึ่งขึ้นรูปโดยใช้ดินเหนียวอย่างเดียว ทั้งนี้ธาตุอาหารที่ผสมอยู่ในตัวกระดาษธาตุที่มีปริมาณสูงสุดคือธาตุฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม ซึ่งมีปริมาณสูงในกระดาษที่ใช้กากจีแป็งเป็นส่วนผสม โดยกระดาษสูตรที่ 2 มีธาตุฟอสฟอรัสและแมกนีเซียมประมาณ 17.20 mg/g และ 11.70 mg/g (1.72%w/w และ 1.17%w/w) ตามลำดับ ส่วนกระดาษสูตรที่ 3 มีธาตุฟอสฟอรัสและแมกนีเซียมประมาณ 0.20 mg/g และ 2.60 mg/g (0.02%w/w และ 0.26%w/w) ตามลำดับ

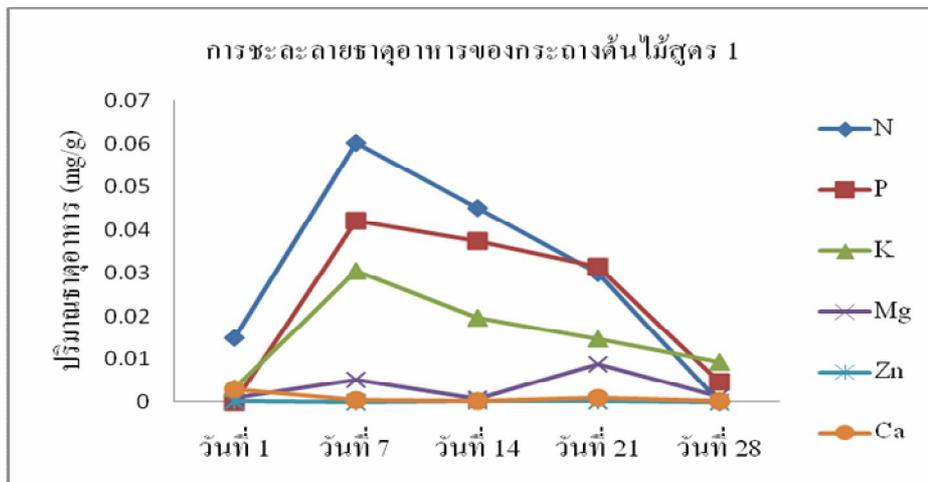


รูปที่ 4.13 แสดงปริมาณธาตุอาหารในอิฐปลุกกล้วยไม้ (หลังจากปั้นขึ้นรูปแล้วทำการเผาโดยใช้ความร้อนที่ 800-1000 °C)

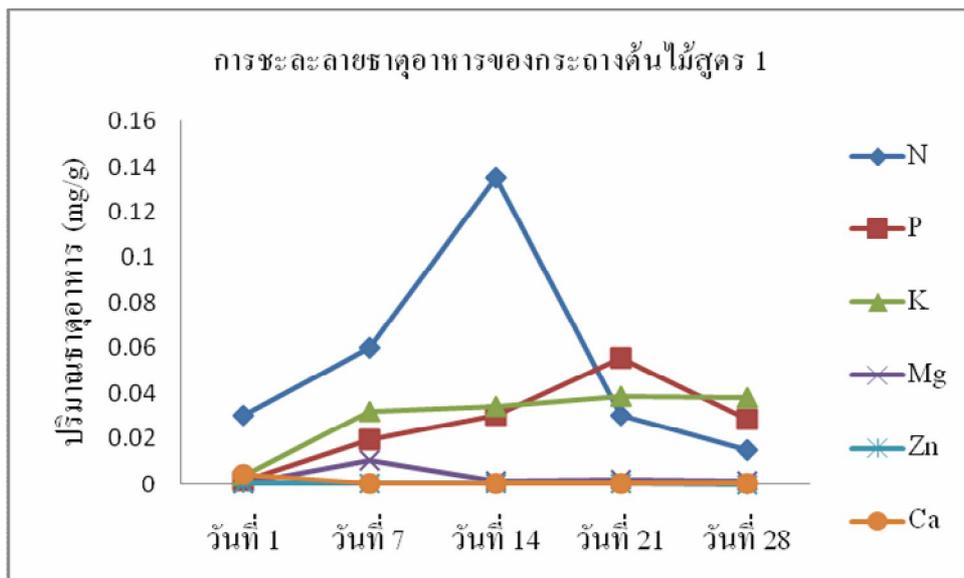
จากรูป 4.13 สังเกตได้ว่าอิฐปลุกกล้วยไม้ที่มีกากจี้แบ่งเป็นส่วนผสมจะมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสและแมกนีเซียมสูงกว่าอิฐปลุกกล้วยไม้ที่ขึ้นรูปโดยใช้ดินเหนียวเพียงอย่างเดียว และสูงกว่าหินภูเขาไฟ โดยอิฐปลุกกล้วยไม้สูตรที่ 3 จะมีปริมาณธาตุอาหารสูงสุด รองลงมาคืออิฐปลุกกล้วยไม้สูตรที่ 2 และอิฐปลุกกล้วยไม้สูตรที่ 1 ในส่วนหินภูเขาไฟนั้นมีธาตุอาหารน้อยสุดแต่มีความพรุนสูงกว่าอิฐปลุกกล้วยไม้ทั้ง 3 สูตรผสม จะเห็นได้ว่าธาตุอาหารยังคงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ในแนวโน้มที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ แม้จะผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงในการทำให้กระด้างคงตัวแล้วก็ตาม

4.3.1 การชะละลายธาตุอาหารกรณีกระถางต้นไม้

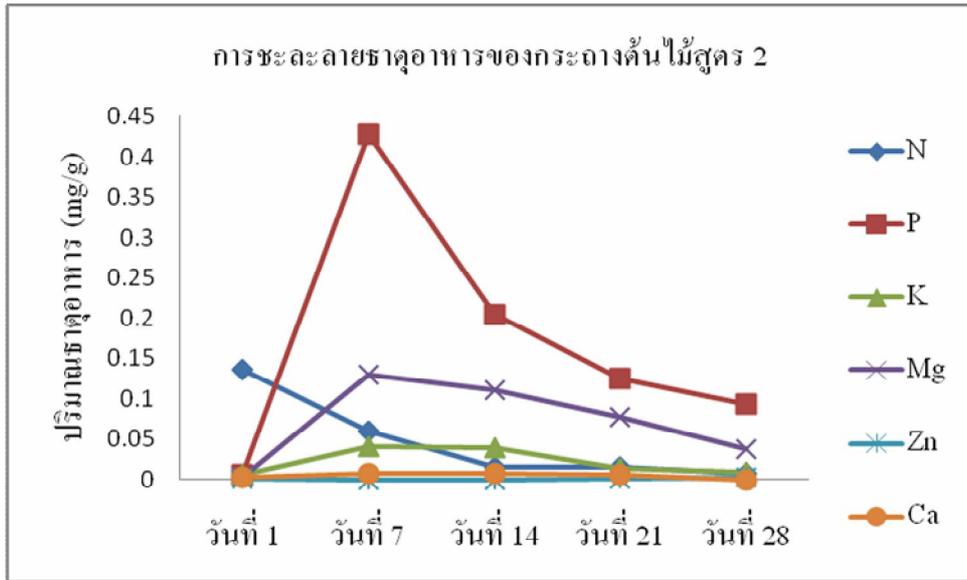
การทดสอบชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้ได้ทดลองแช่กระถางสูตรต่างๆ ในน้ำที่มีสัดส่วนน้ำหนักกระถางต่อน้ำหนักน้ำไม่น้อยกว่า 1:15 (แช่ในน้ำกลั่น 15 ลิตร) ควบคุมทุกชุดทดลอง กำหนดให้มีการเปลี่ยนน้ำทุกๆ 1 สัปดาห์ 1 รูปแบบรูปแบบละ 3 ตัวอย่างทดลอง เทียบกับการที่ไม่มีการเปลี่ยนน้ำเลย เป็นระยะเวลา 1 เดือน เพื่อดูสภาพการชะละลาย แสดงดังรูปที่ 4.14 - 4.19 การรายงานผลการชะละลายเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักคือ น้ำหนักธาตุอาหารที่ตรวจพบการชะละลายต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ทำกรทดสอบ



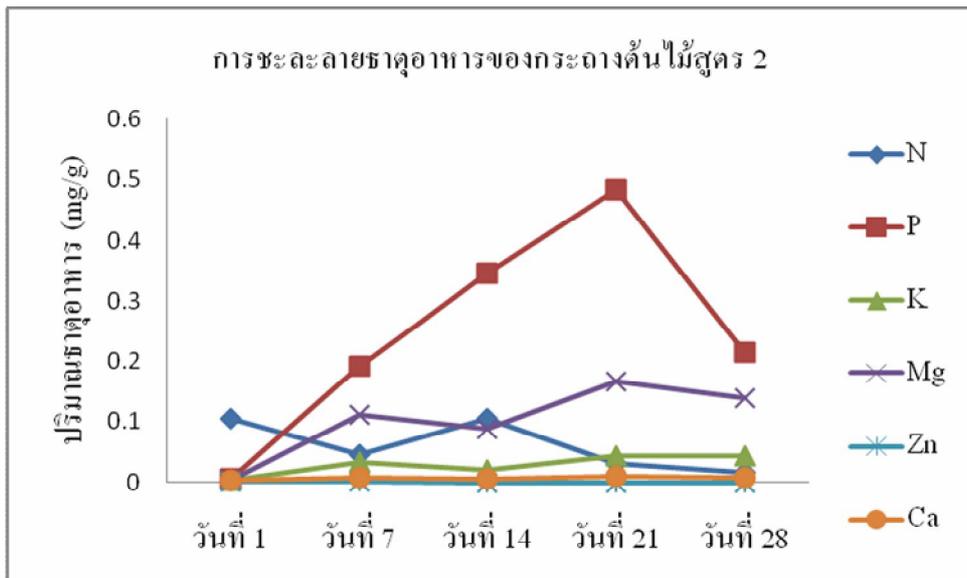
รูปที่ 4.14 การชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้ สูตร 1 ดินเหนียวอย่างเดียว (เปลี่ยนน้ำทุก 7 วัน)



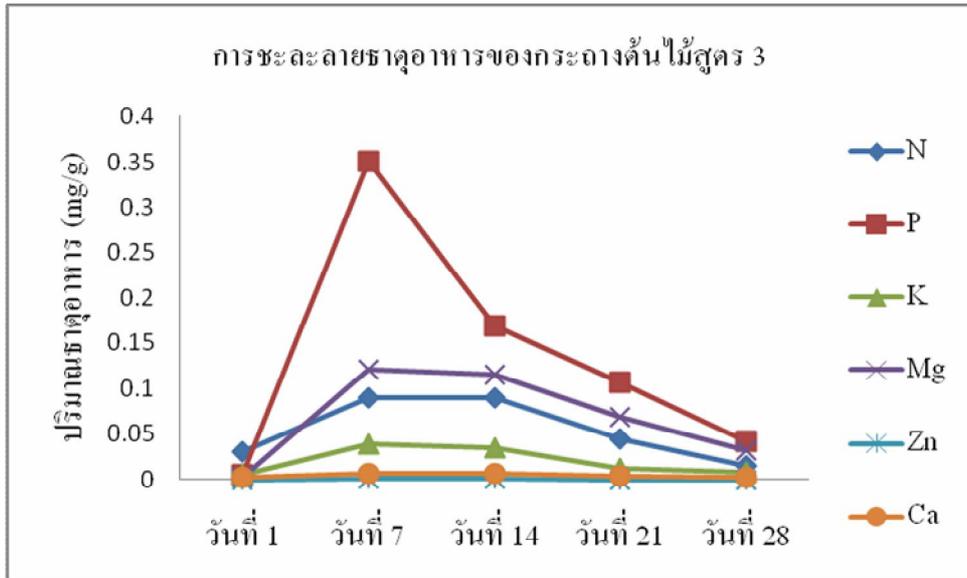
รูปที่ 4.15 การชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้ สูตร 1 ดินเหนียวอย่างเดียว (แช่น้ำตลอด 28 วัน)



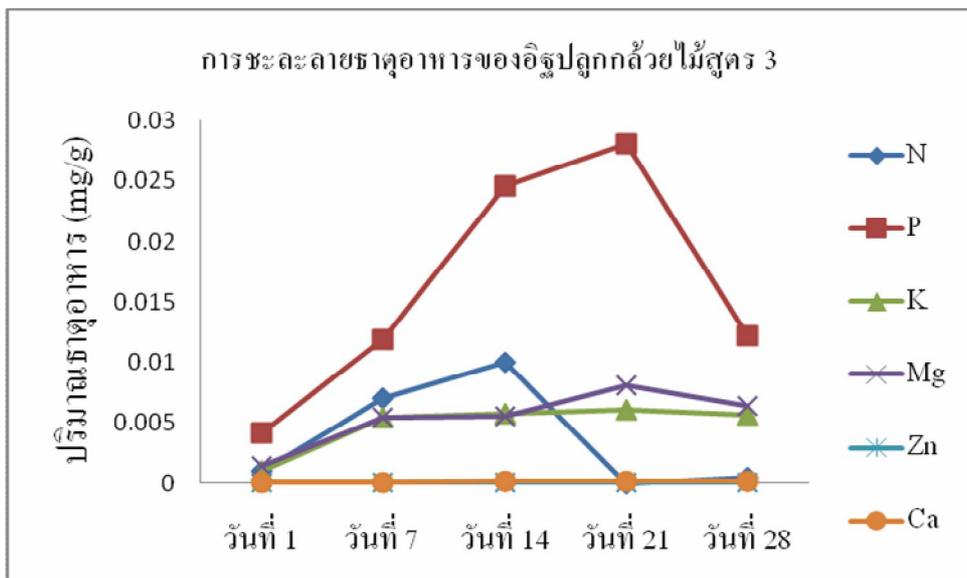
รูปที่ 4.16 การชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้ สูตร 2 ดินเหนียว : กากซีเมนต์ (80:20) (เปลี่ยนน้ำทุกๆ 7 วัน)



รูปที่ 4.17 การชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้ สูตร 2 ดินเหนียว : กากซีเมนต์ (80:20) (แช่น้ำตลอด 28 วัน)



รูปที่ 4.18 การชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้อุตร 3 दिनเหนียว : กากจี้แป้ง (80:20) ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (เปลี่ยนน้ำทุกๆ 7 วัน)



รูปที่ 4.19 การชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้อุตร 3 दिनเหนียว : กากจี้แป้ง (80:20) ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (แช่น้ำตลอด 28 วัน)

โดยภาพรวมจะเห็นว่าปริมาณการชะละลายธาตุอาหารเป็นไปตามสัดส่วนของปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่เริ่มต้น นอกจากนี้ยังพบว่า การเปลี่ยนน้ำมีผลทำให้การชะละลายธาตุอาหารออกมาเร็วกว่าการไม่เปลี่ยนน้ำประมาณ 1 สัปดาห์ โดยการเปลี่ยนน้ำทำให้เกิดการชะละลายสูงสุดที่สัปดาห์ที่ 2 เสมือนการจำลองสภาพการรดน้ำต้นไม้อย่างมาก หรือการถูกน้ำฝนหรือน้ำชะปริมาณมาก จึงมีแนวโน้มการลดลงของธาตุอาหารอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับการไม่เปลี่ยนน้ำที่แช่ไว้เลยตลอดระยะเวลา 1 เดือนพบว่าธาตุอาหารมีอัตราเพิ่มสะสมที่สูงขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ซึ่งเสมือนว่าไม่ถูกน้ำฝนชะและมีการรดน้ำแต่พอดีไม่ให้น้ำไหลล้นหรือชะออกไปทางก้นกระถาง ดังนั้นการนำไปใช้งานจริงในการทดลองปลูกพืชนั้นปัจจัยแวดล้อมดังที่ได้กล่าวมาแล้วต้องทำการควบคุมทุกชุดการทดลอง

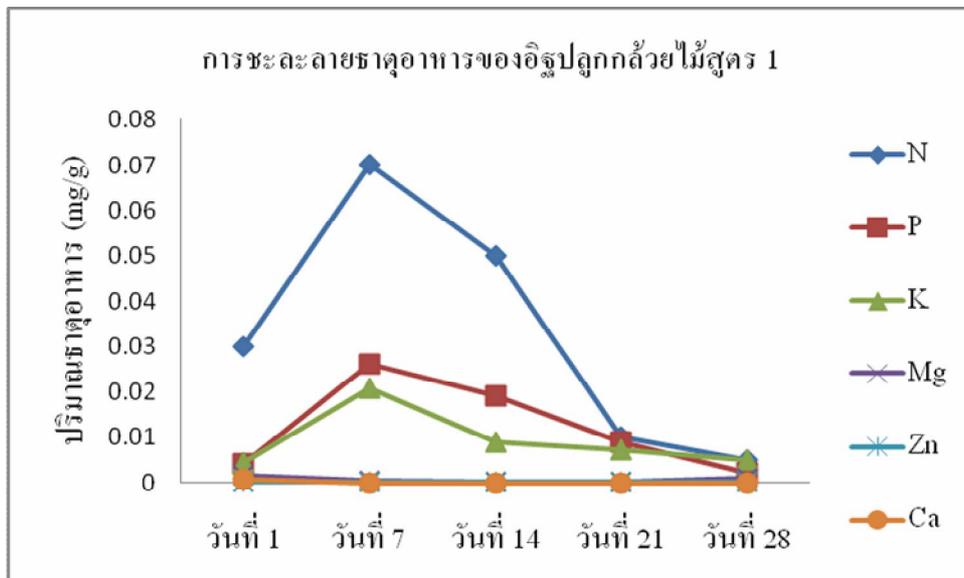
อัตราการชะละลายของกระถางสูตร 1 ดินเหนียวอย่างเดียวจะค่อนข้างต่ำกว่าแบบที่ 3 และ 2 ตามลำดับ แม้ว่าจะมีธาตุอาหารที่ชะละลายจากสูตรที่ 1 น้อยกว่ามากก็ตาม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของความพรุนตัวที่แตกต่างกัน การพรุนตัวสูงย่อมก่อให้เกิดช่องว่างมากมายที่จะทำให้คูดซึมน้ำเข้าไปชะละลายได้ง่ายยิ่งขึ้น

4.3.2 การชะละลายกรณีอิฐปลูกกล้วยไม้

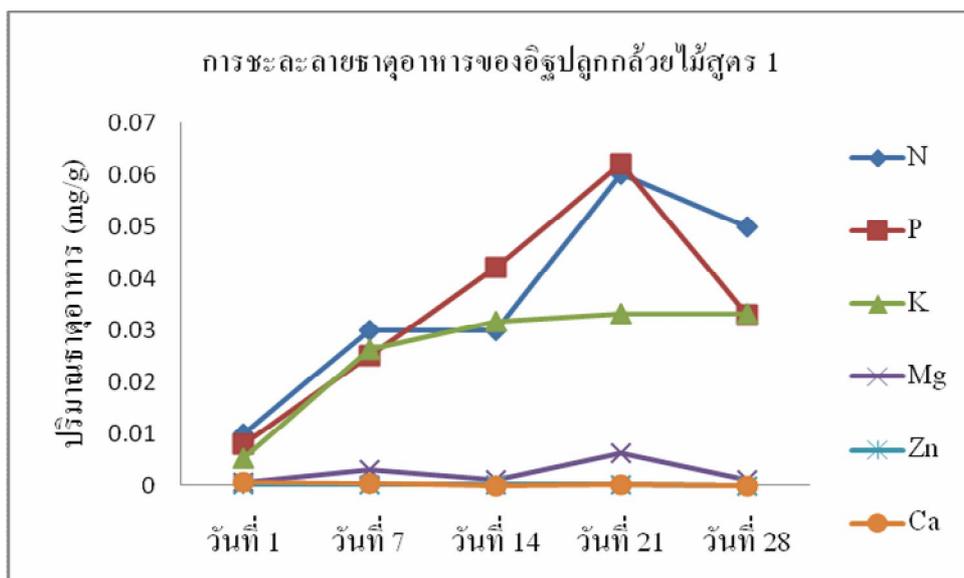
การทดสอบการชะละลายธาตุอาหารของอิฐปลูกกล้วยไม้ได้ทดลองเช่นเดียวกันกับการทดสอบกระถางกำหนดให้มีการเปลี่ยนน้ำทุกๆ 1 สัปดาห์ 1 รูปแบบรูปแบบละ 3 ตัวอย่างทดลองเทียบกับการที่ไม่มีการเปลี่ยนน้ำเลย เป็นระยะเวลา 1 เดือน เพื่อดูสภาพการชะละลาย แสดงดังรูปที่ 4.20 - 4.25 ผลการศึกษาที่มีแนวโน้มที่สอดคล้องกันกับการชะละลายธาตุอาหารจากกระถาง รวมถึงผลของการเปลี่ยนน้ำทุกสัปดาห์ ยังคงทำให้เกิดการชะละลายในอัตราที่สูงที่สัปดาห์ที่ 2 เช่นเดียวกับกรณีของกระถางต้นไม้และเร็วกว่าการไม่เปลี่ยนน้ำ 1 สัปดาห์ แต่จะสังเกตได้ว่าอิฐปลูกกล้วยไม้สูตรที่ 3 มีการชะละลายธาตุอาหารดีที่สุด รองลงมาคืออิฐปลูกกล้วยไม้สูตรที่ 2 ส่วนอิฐปลูกกล้วยไม้สูตรที่ 1 มีการชะละลายธาตุอาหารต่ำสุด

ส่วนกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนน้ำจะสังเกตได้ว่าอิฐปลูกกล้วยไม้สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 มีการชะละลายธาตุอาหารใกล้เคียงกัน ส่วนอิฐปลูกกล้วยไม้สูตรที่ 1 มีการชะละลายธาตุอาหารต่ำสุด สาเหตุน่าจะเป็นเหตุและผลที่ได้กล่าวไปแล้วในกรณีของกระถางต้นไม้แต่กรณีของอิฐปลูกกล้วยไม้นี้ความหนาของตัวก้อนแต่ละก้อนจะหนากว่าตัวกระถางดังนั้นผลของความหนาจึงมีส่วนทำให้เกิดการชะละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกันไม่เพียงแต่ค่าความพรุนเท่านั้น ดังนั้นกรณีนี้การขึ้นรูปของอิฐและขนาดของก้อนอิฐที่สังเคราะห์จึงมีผลต่อการชะละลายธาตุอาหารโดยตรง

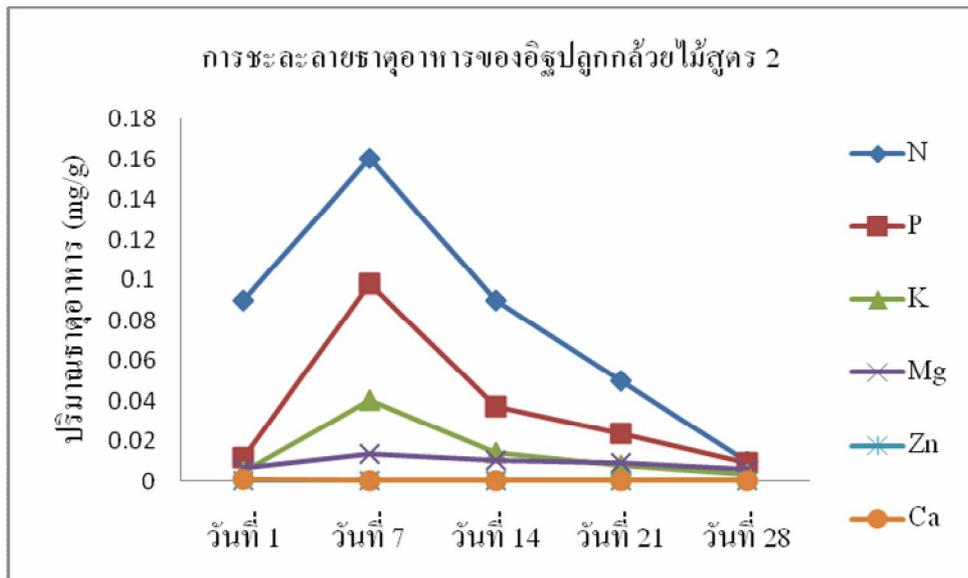
อย่างไรก็ดีการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าในกระถางหรือวัสดุปลูกกล้วยไม้มีธาตุอาหารอยู่ และมากกว่ากระถางทั่วไป มีการชะออกมาได้โดยน้ำ สมมุติฐานต่อมาคือพืชที่จะนำมาปลูกอาจจะได้รับผลของการชะละลายดังกล่าวต่อการเจริญเติบโตได้ นำไปสู่การทดลองปลูกพืชเพื่อจะติดตามการเจริญเติบโตและผลของธาตุอาหารที่ชะออกมาต่อการเจริญเติบโตต่อไป



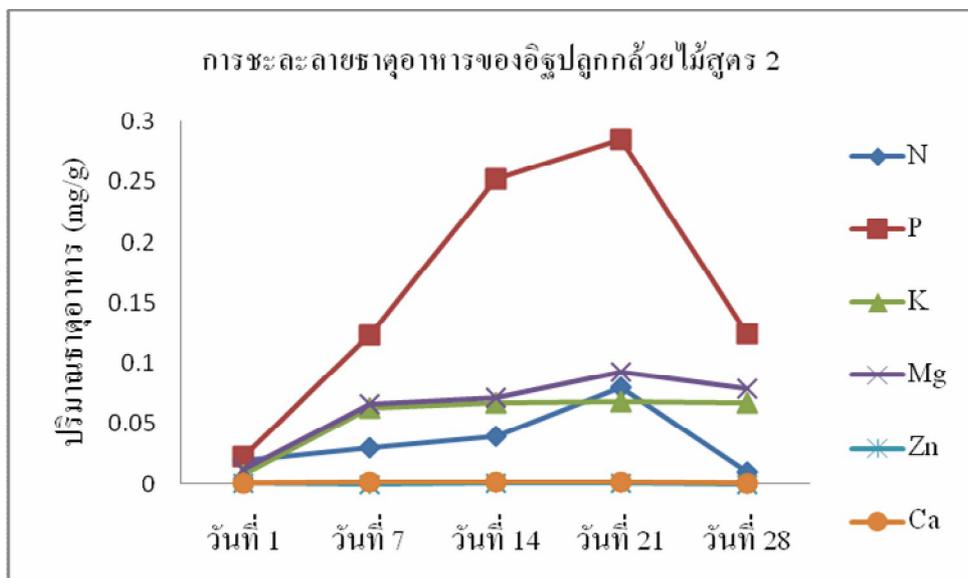
รูปที่ 4.20 การชะละลายธาตุอาหารของอิฐปลูกกล้วยไม้ สูตร 1 ดินเหนียวอย่างเดียว (เปลี่ยนน้ำทุกๆ 7 วัน)



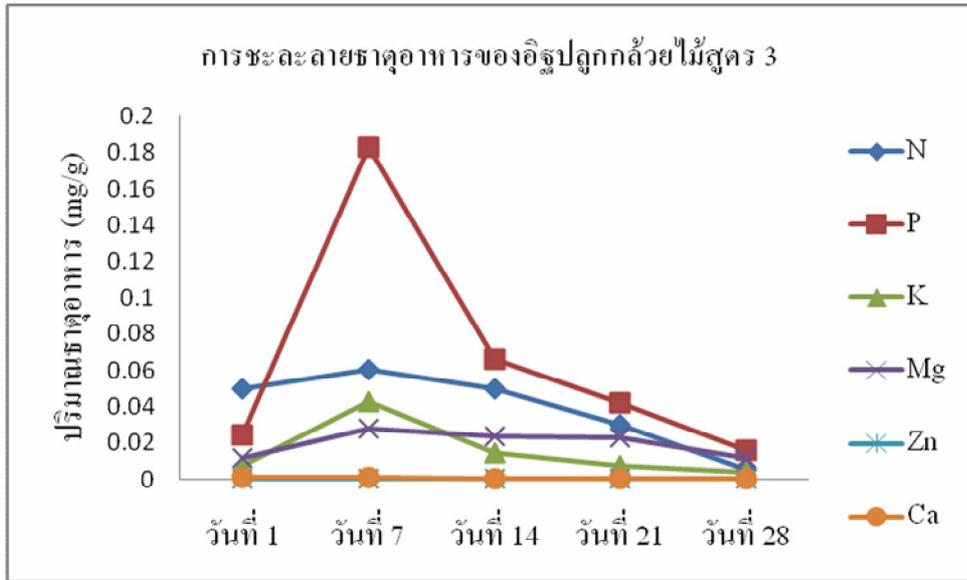
รูปที่ 4.21 การชะละลายธาตุอาหารของอิฐปลูกกล้วยไม้ สูตร 1 ดินเหนียวอย่างเดียว (แช่น้ำตลอด 28 วัน)



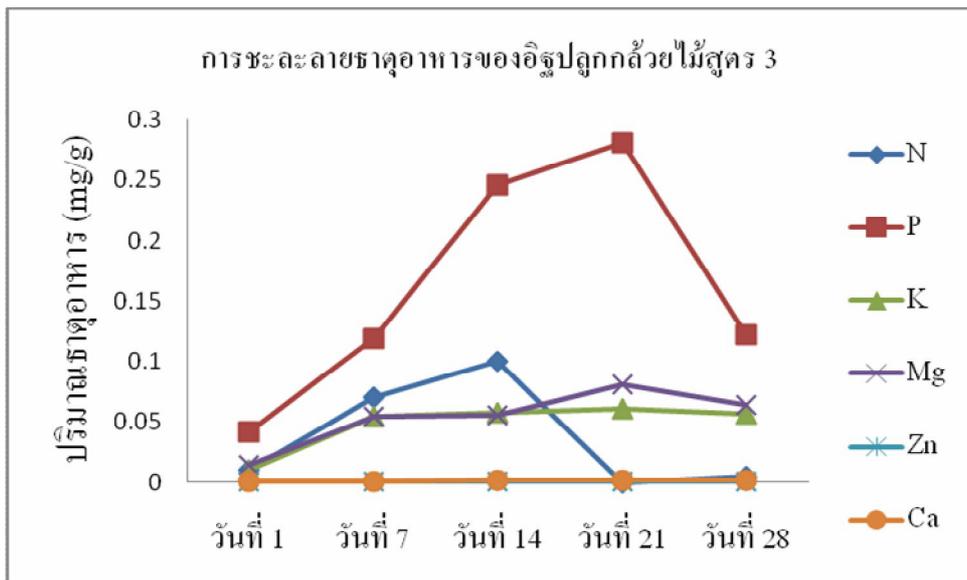
รูปที่ 4.22 การชะละลายธาตุอาหารของอิฐปลุกกล้วยไม้ สูตร 2 ดินเหนียว : กากขี้เถ้า (80:20) (เปลี่ยนน้ำทุกๆ 7 วัน)



รูปที่ 4.23 การชะละลายธาตุอาหารของอิฐปลุกกล้วยไม้ สูตร 2 ดินเหนียว : กากขี้เถ้า (80:20) (แช่น้ำตลอด 28 วัน)



รูปที่ 4.24 การชะละลายธาตุอาหารของอิฐปลุกกล้วยไม้ สูตร 3 ดินเหนียว : กากขี้เถ้า (80:20) ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (เปลี่ยนน้ำทุกๆ 7 วัน)

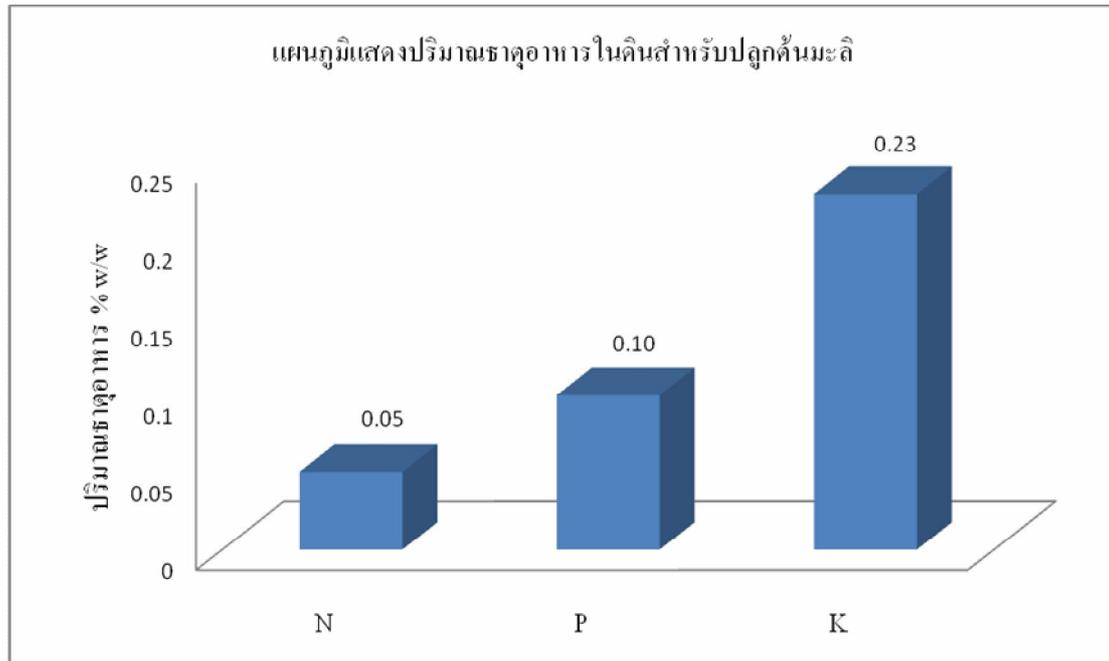


รูปที่ 4.25 การชะละลายธาตุอาหารของอิฐปลุกกล้วยไม้ สูตร 3 ดินเหนียว : กากขี้เถ้า (80:20) ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (แช่น้ำตลอด 28 วัน)

4.4 การเจริญเติบโตของพืช

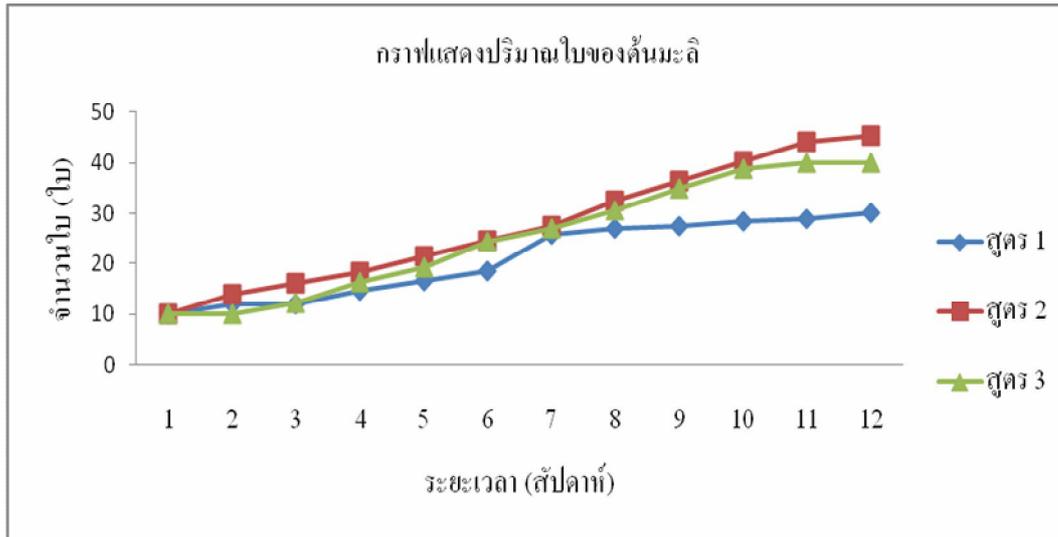
4.4.1 การเจริญเติบโตของต้นพืชในกระถางสูตรต่างๆ

ก่อนจะทำการทดลองการปลูกพืชด้วยกระถางสูตรต่างๆ นั้น ได้มีการนำดินที่ใช้ปลูกซึ่งเป็นดินสำเร็จตามท้องตลาดทั่วไปมาหาปริมาณธาตุอาหารแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 4.26 จะสังเกตเห็นได้ว่าปริมาณธาตุอาหารต่อหน่วยน้ำหนักดินถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกากจี้เป๋ง

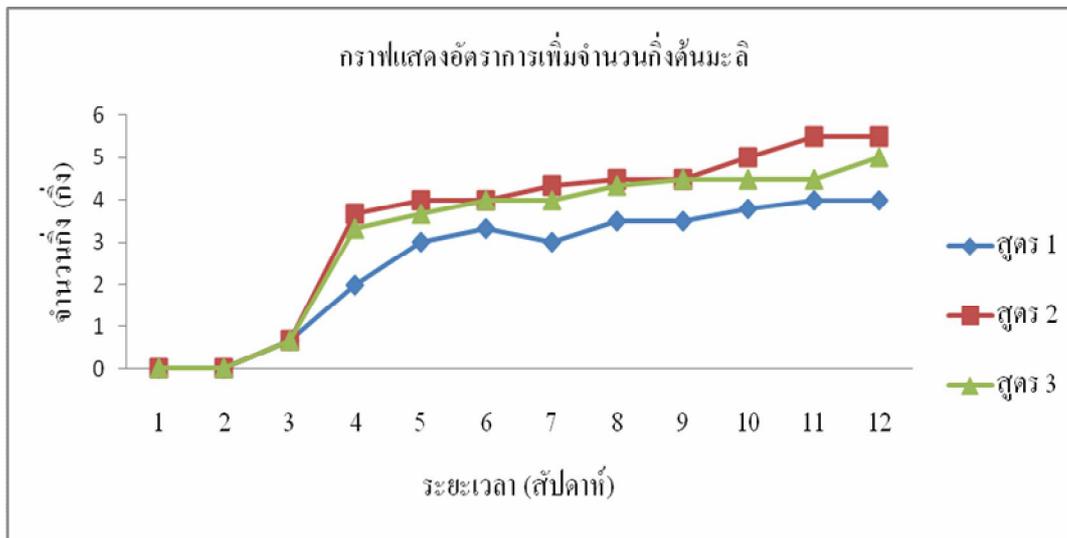


รูปที่ 4.26 ปริมาณธาตุอาหารในดินที่ใช้ปลูกต้นมะลิในหน่วยเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ต้นไม้ที่ใช้สำหรับการศึกษาคือต้นมะลิพันธุ์ราชบูรณะสำหรับปลูกทดลองในกระถางต้นไม้สูตรผสมต่างๆ แต่ละส่วนผสมได้ปลูกต้นมะลิชุดละ 36 กระถาง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตโดยใช้ต้นมะลิและดินในชุดเดียวกันอายุเท่ากัน และควบคุมแสงและปริมาณน้ำที่ใช้รด ซึ่งทำการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของต้นมะลิภายในช่วงระยะเวลา 12 สัปดาห์ ได้มีการประเมินการเจริญเติบโตของต้นมะลิจาก จำนวนใบ กิ่งก้าน ดอก ความสูง และทรงพุ่มของต้นมะลิ โดยได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.27-4.34



รูปที่ 4.27 จำนวน ใบของต้นมะลิของต้นมะลิในกระถางสูตรต่างๆ



รูปที่ 4.28 แสดงอัตราการเพิ่มจำนวนกิ่งของต้นมะลิ

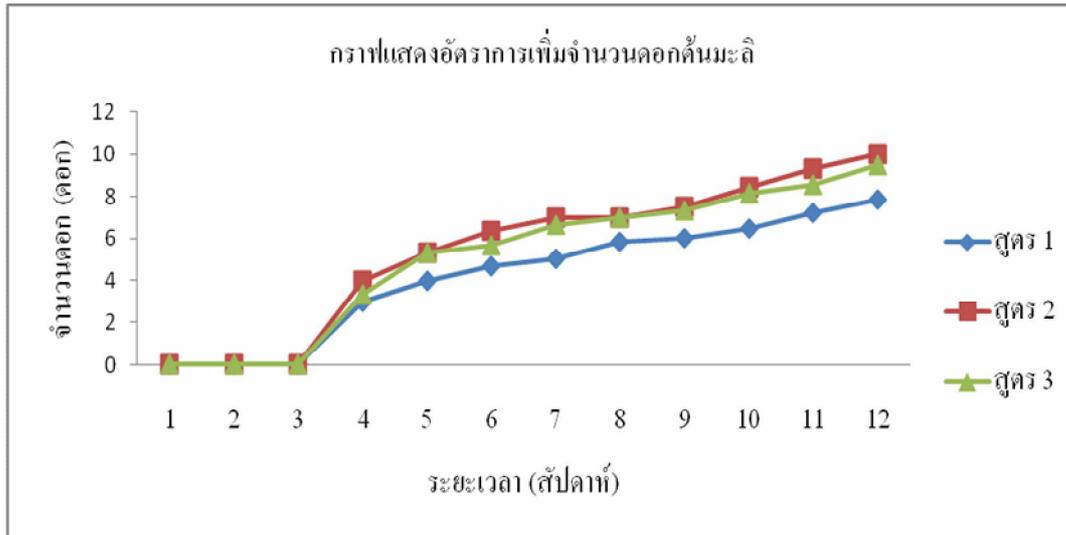


ก.

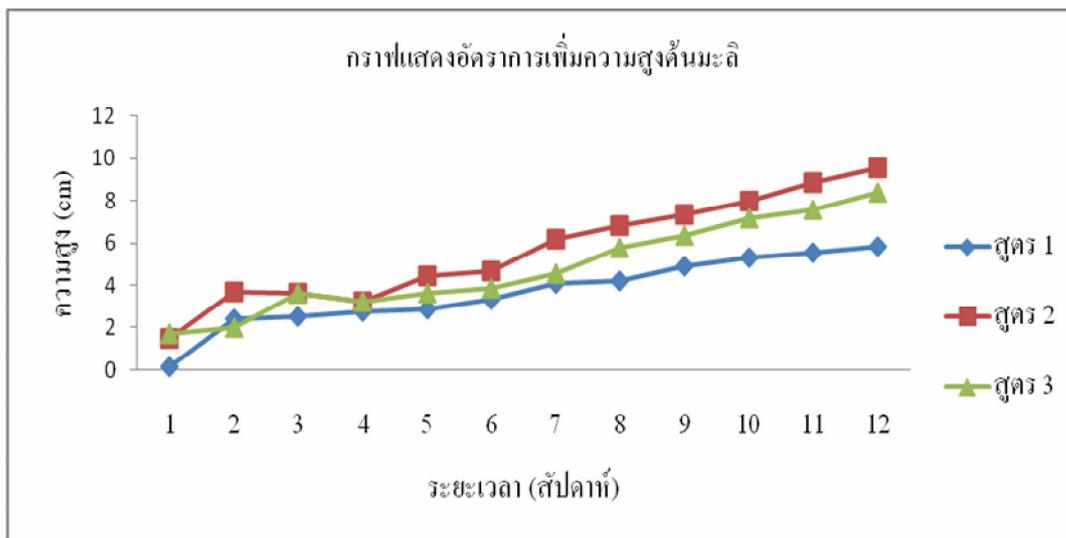
ข.

ค.

รูปที่ 4.29 ก. ลำต้นมะลิสูตรที่ 1 ข.ลำต้นมะลิสูตรที่ 2 ค.ลำต้นมะลิสูตรที่ 3



รูปที่ 4.30 อัตราการเพิ่มจำนวนดอกของต้นมะลิ

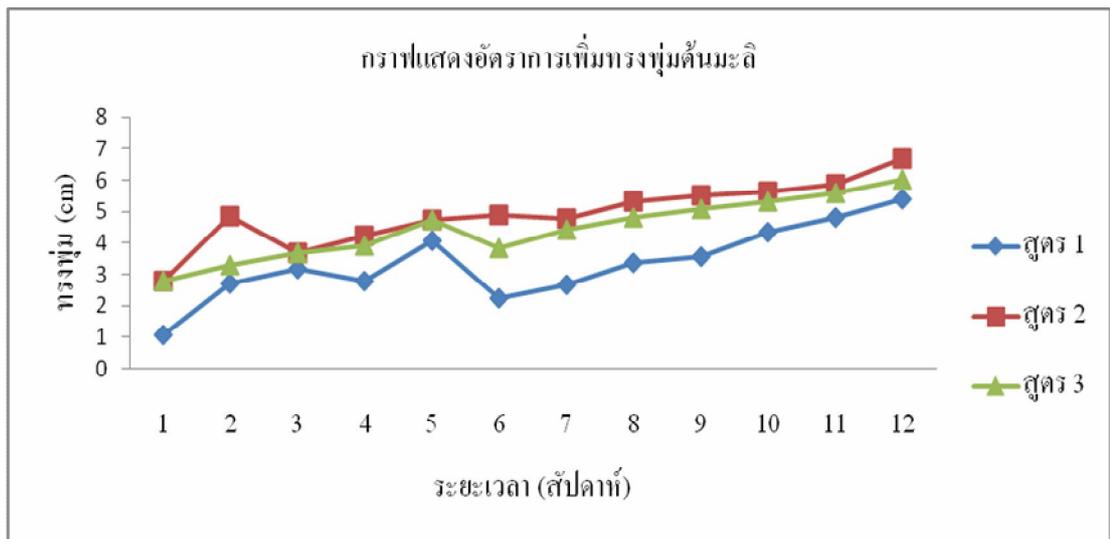


รูปที่ 4.31 อัตราการเพิ่มความสูงของต้นมะลิ



รูปที่ 4.32 ความสูงต้นมะลิในกระถางแต่ละสูตร

กระถางซ้ายคือต้นมะลิสสูตรที่ 1, กระถางกลางคือต้นมะลิสสูตรที่ 2, กระถางขวาคือต้นมะลิสสูตรที่ 3



รูปที่ 4.33 อัตราการเพิ่มทรงพุ่มของต้นมะลิ



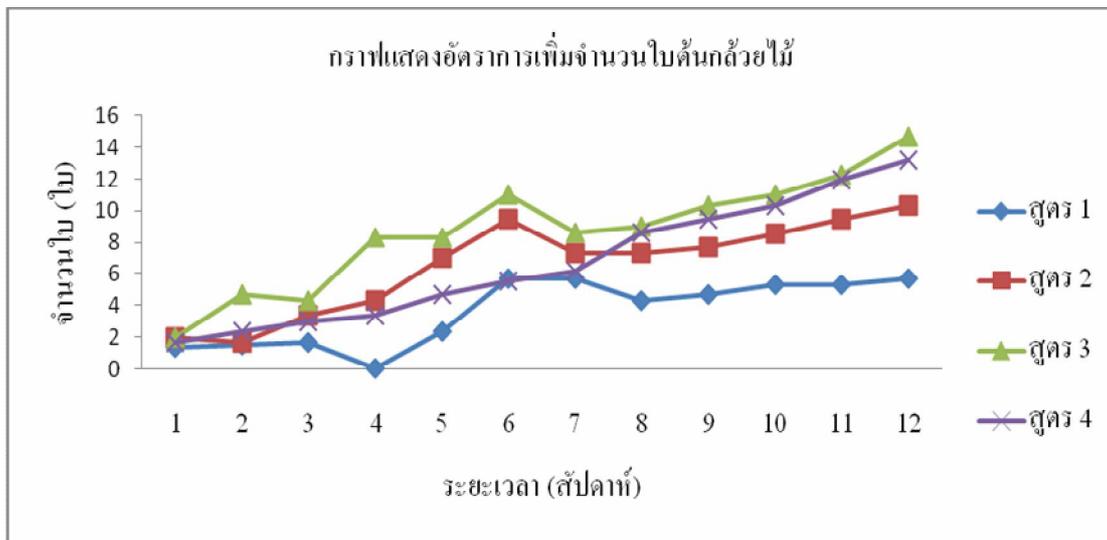
รูปที่ 4.34 ทรงพุ่มของต้นมะลิ

กระถางซ้ายคือต้นมะลิสูตรที่ 1, กระถางกลางคือต้นมะลิสูตรที่ 2, กระถางขวาคือต้นมะลิสูตรที่ 3

จากกราฟทั้งหมดที่แสดงให้เห็นการเจริญเติบโตของต้นมะลิในกระถางสูตรต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนแค่เพียงสังเกตด้วยตาเปล่า ซึ่งต้นมะลิที่ปลูกในกระถางสูตรที่ 2 มีอัตราการเพิ่มจำนวนใบ การแตกกิ่งก้าน การออกดอก ความสูง และทรงพุ่มของต้นมะลิมิแนวโน้มสูงขึ้นดีที่สุดในเมื่อเปรียบเทียบกับต้นมะลิที่ปลูกในกระถางสูตร 3 และ กระถางสูตร 1 ตามลำดับทั้งนี้ต่อเนื่องตลอด 12 สัปดาห์ เหตุผลสนับสนุนจากการอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.3 มาจากธาตุอาหารที่ชะละลายจากตัวกระถางเมื่อมีการรดน้ำจะเกิดความชื้นทั้งในดินและกระถางส่งผลให้เกิดการชะละลายและดินดูดซับไว้ต้นมะลิจึงสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ โดยสอดคล้องกับแนวโน้มผลการทดสอบการชะละลายธาตุอาหารสูงสุดของกระถางสูตรที่ 2 และเป็นที่น่าสังเกตอีกว่าการชะละลายในผลการทดสอบที่ได้กล่าวมาแล้วมีแนวโน้มลดลงอย่างมากเมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์แต่ในกรณีนี้ต้นมะลียังสามารถเติบโตแตกต่างกันอย่างสังเกตเห็นได้แม้เวลาจะล่วงเลยไปกว่า 3 เดือนแล้ว แสดงให้เห็นว่าการชะละลายธาตุอาหารในขณะที่ปลูกต้นมะลิเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป และมีดินช่วยชะลอการชะทิ้งไปกับน้ำที่ไ้รดต้นไม้

4.4.2 การเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้

ต้นกล้วยไม้พันธุ์สกุลหวายสำหรับปลูกทดลองโดยใช้อิฐปลูกกล้วยไม้สูตรผสมต่างๆ เทียบกันและเทียบกับหินภูเขาไฟ(สูตร 4) ที่นิยมใช้ปลูกกล้วยไม้ร่าอากาศทั่วไป โดยแต่ละชุดทดลองมีจำนวนกระถางแขวน 36 ใบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้ การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้นั้น ใช้ระยะเวลาติดตามผลตลอดในช่วงระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยประเมินการเจริญเติบโตจากต้นกล้วยไม้ อัตราการเพิ่มของจำนวนใบ จำนวนหน่อ ความสูง และขนาดรอบวงลำต้น โดยได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.35- 4.43 ดังนี้



รูปที่ 4.35 อัตราการเพิ่มจำนวนใบของต้นกล้วยไม้สูตรต่างๆ

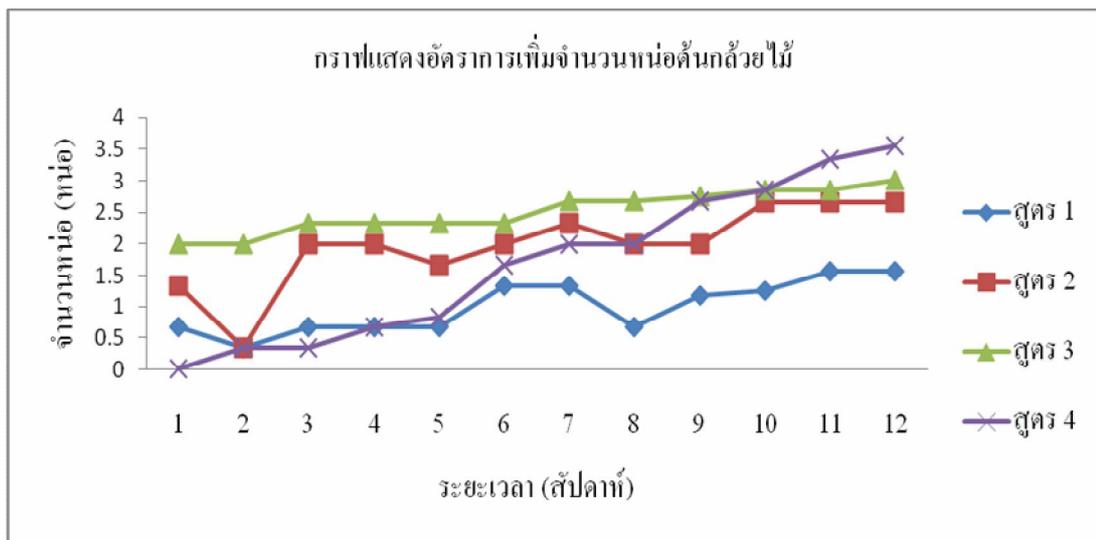


ก.

ข.

ค.

รูปที่ 4.36 ก.ต้นกล้วยไม้สูตรที่ 1 ข.ต้นกล้วยไม้สูตรที่ 2 ค.ต้นกล้วยไม้สูตรที่ 3



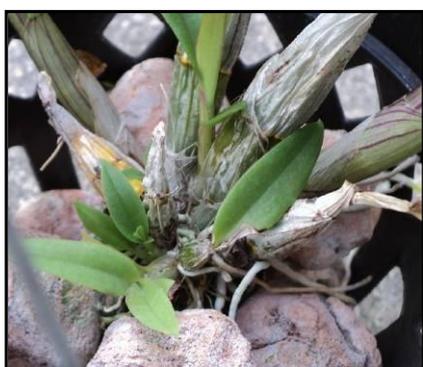
รูปที่ 4.37 อัตราการเพิ่มจำนวนหน่อของต้นกล้วยไม้สูตรต่างๆ



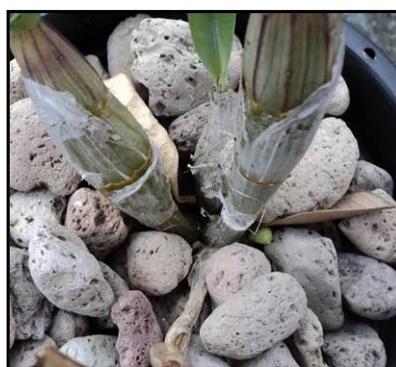
ก.



ข.



ค.



ง.

รูปที่ 4.38 ก. หน่อกล้วยไม้สูตร 1 ข. หน่อกล้วยไม้สูตร 2 ค. หน่อกล้วยไม้สูตร 3
ง. หน่อกล้วยไม้สูตร 4
(ช่วง 6 สัปดาห์แรกที่ทำการศึกษา)



ก.



ข.

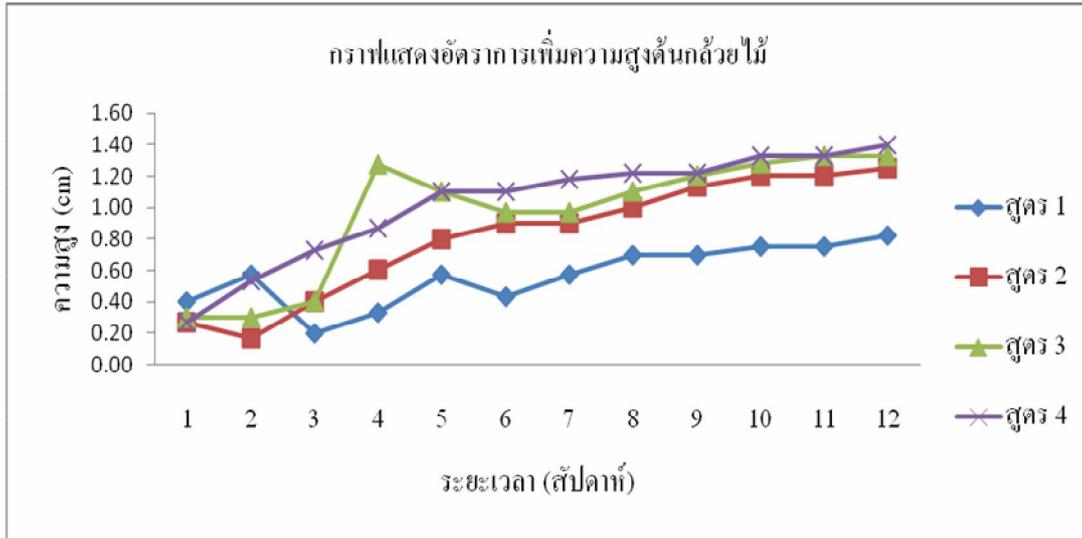


ค.



ง.

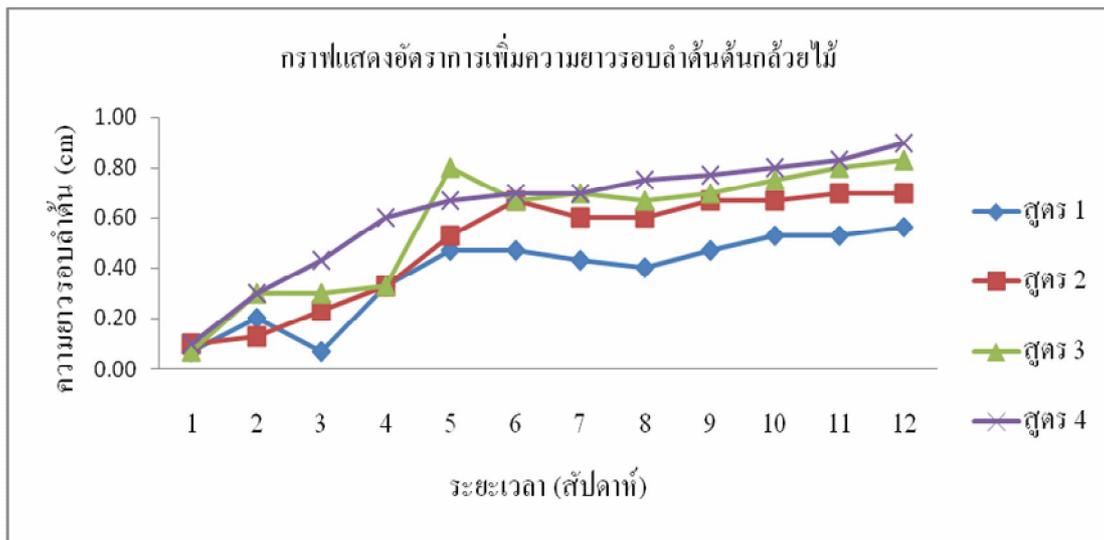
รูปที่ 4.39 ก. หน่อกล้วยไม้สูตร 1 ข. หน่อกล้วยไม้สูตร 2 ค. หน่อกล้วยไม้สูตร 3
ง. หน่อกล้วยไม้สูตร 4
(ช่วง 12 สัปดาห์ที่ทำการศึกษา)



รูปที่ 4.40 แสดงอัตราการเพิ่มความสูงของต้นกล้วยไม้สูตรต่างๆ



รูปที่ 4.41 ตัวแทนต้นกล้วยไม้ที่ทำการปลูกทดลองเรียงตามลำดับ โดยเริ่มจากซ้ายสุดคือ ต้นกล้วยไม้สูตรที่ 1, 2, 3 และ หินภูเขาไฟ



รูปที่ 4.42 แสดงอัตราการเพิ่มความยาวรอบลำต้นกล้วยไม้สูตรต่างๆ



ก.



ข.



ค.



ง.

รูปที่ 4.43 ก. ลำต้นกล้วยไม้สูตร 1 ข. ลำต้นกล้วยไม้สูตร 2 ค. ลำต้นกล้วยไม้สูตร 3

ง. ลำต้นกล้วยไม้สูตร 4

(ช่วง 12 สัปดาห์ที่ทำการศึกษา)

การศึกษาอัตราการเพิ่มจำนวนใบของต้นกล้วยไม้ นั้น จะเกี่ยวข้องกับการเพิ่มของปริมาณหน่อต้นกล้วยไม้ด้วย โดยหากมีอัตราการแตกหน่อที่ดีจะทำให้ปริมาณใบเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน จากข้อมูลที่ศึกษาการเพิ่มจำนวนใบของต้นกล้วยไม้ทั้ง 4 ชุดการทดลอง โดยต้นกล้วยไม้สูตร 3 มีอัตราการเพิ่มจำนวนใบโดยเฉลี่ยสูงสุดคือ 8.72 ใบ/สัปดาห์ รองลงมาคือหีนภูเขาไฟมีอัตราการเพิ่มจำนวนใบโดยเฉลี่ย 6.70 ใบ/สัปดาห์ รองลงมาคือต้นกล้วยไม้สูตร 2 มีอัตราการเพิ่มจำนวนใบโดยเฉลี่ย 6.55 ใบ/สัปดาห์ และต้นกล้วยไม้สูตร 1 มีอัตราการเพิ่มจำนวนใบโดยเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 3.63 ใบ/สัปดาห์ สอดคล้องกับอัตราการแตกหน่อของต้นกล้วยไม้ โดยอัตราการแตกหน่อของต้นกล้วยไม้ที่ใช้อิฐสูตร 3 มีอัตราการเพิ่มจำนวนหน่อโดยเฉลี่ยสูงสุดคือ 2.50 หน่อ/สัปดาห์ รองลงมาคือต้นกล้วยไม้ที่ใช้อิฐสูตร 2 มีอัตราการเพิ่มจำนวนหน่อโดยเฉลี่ย 1.97 หน่อ/สัปดาห์ รองลงมาคือต้นกล้วยไม้ที่ปลูกโดยใช้หีนภูเขาไฟมีอัตราการเพิ่มจำนวนหน่อโดยเฉลี่ย 1.70 หน่อ/สัปดาห์ และต้นกล้วยไม้สูตร 1 มีอัตราการเพิ่มจำนวนใบโดยเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 1.0 หน่อ/สัปดาห์

แต่เมื่อพิจารณาความสูงของต้นกล้วยไม้กลับพบว่า ต้นกล้วยไม้ที่ปลูกโดยใช้หีนภูเขาไฟมีอัตราการเพิ่มความสูงโดยเฉลี่ยสูงสุดคือ 1.02 เซนติเมตร/สัปดาห์ รองลงมาคือต้นกล้วยไม้ที่ใช้อิฐสูตร 3 มีอัตราการเพิ่มความสูงโดยเฉลี่ย 0.96 เซนติเมตร/สัปดาห์ รองลงมาคือต้นกล้วยไม้สูตร 2 มีอัตราการเพิ่มความสูงโดยเฉลี่ย 0.82 เซนติเมตร/สัปดาห์ และต้นกล้วยไม้ที่ใช้อิฐสูตร 1 มีอัตราการเพิ่มความสูงโดยเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 0.57 เซนติเมตร/สัปดาห์ ซึ่งไปสอดคล้องกับขนาดของลำกล้วยไม้ (เส้นรอบวง) โดยอัตราการเพิ่มความยาวรอบลำต้นกล้วยไม้ที่ปลูกโดยใช้หีนภูเขาไฟโดยเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.63 เซนติเมตร/สัปดาห์ รองลงมาคือต้นกล้วยไม้สูตร 3 โดยเฉลี่ย 0.58 เซนติเมตร/สัปดาห์ รองลงมาคือต้นกล้วยไม้สูตร 2 โดยเฉลี่ย 0.49 เซนติเมตร/สัปดาห์ และต้นกล้วยไม้สูตร 1 มีอัตราการเพิ่มความยาวรอบลำต้นโดยเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 0.38 เซนติเมตร/สัปดาห์

อาจกล่าวได้ว่าทั้งอิฐที่สังเคราะห์โดยมีกากจี้เป็งผสมอยู่ช่วยให้มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้ได้ดีและใกล้เคียงกับหีนภูเขาไฟที่มีขายตามท้องตลาดแม้ว่าอิฐภูเขาไฟจะมีธาตุอาหารเริ่มต้นที่ต่ำกว่าสูตรผสมกากจี้เป็งแต่มีความพรุนตัวสูงกว่ามากซึ่งอาจเป็นสาเหตุสำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้และเป็นประเด็นที่ต้องศึกษาต่อไป อย่างไรก็ตามผลของการชะละลายธาตุอาหารของกระถางต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้ในระยะเวลา 1 เดือนนั้นมีค่าน้อยกว่าปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในกระถางและอิฐปลูกกล้วยไม้เริ่มต้นมาก ซึ่งแสดงว่าตัวกระถางต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้สามารถชะละลายธาตุอาหารออกมาได้อีกเรื่อยๆ สอดคล้องกับผลการทดสอบการปลูกพืชทั้งสองเป็นเวลานานกว่า 3 เดือนยังสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าวัสดุปลูกที่ไม่ได้มีส่วนผสมของกากจี้เป็ง เนื่องจากมีธาตุอาหารชะละลายออกมาได้เองเมื่อทำการรดน้ำต้นไม้ มีประโยชน์ในระยะยาวเหมาะสำหรับปลูกต้นไม้โดยไม่ต้องใส่ปุ๋ย

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาในโครงการสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1. กากจี้แป้งมีธาตุอาหารที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ปริมาณ ฟอสฟอรัส จำนวนมาก รองลงมา คือ แต่มีโปรแตสเซียม และไนโตรเจน ตามลำดับ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้
2. การทำให้กากจี้แป้งแห้งโดยการตากแดดและอบที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นผ่านเครื่องบดหยาบ และร่อนผ่านตะแกรงขนาดมาตรฐานเบอร์ 40 สามารถแยกส่วนที่เป็นการจับตัวกันของ เนื้อยางติดค้างด้านบนและส่วนที่เป็นสารอื่นๆถูกร่อนผ่านตะแกรงมาได้ และพบว่าธาตุอาหารส่วนที่ติดค้างบนตะแกรงจะมากกว่าส่วนที่ผ่านตะแกรงมาได้ประมาณร้อยละ 50
3. ปริมาณเนื้อยางที่ติดค้างด้านบนมีส่วนทำให้เกิดความพรุนตัวสูงขึ้นในวัสดุตั้งเคราะห์ กระถางและอิฐปลุกกล้วยไม้ และมีผลต่อการชะละลายธาตุอาหาร นอกจากนี้การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาของวัสดุมากจะส่งผลต่อการชะละลายธาตุอาหารลดลงได้
4. การนำกากจี้แป้งมาผสมกับดินเหนียวเพื่อทำกระถางและอิฐปลุกกล้วยไม้ สัดส่วนดินเหนียว : กากจี้แป้ง = 80 : 20 เหมาะสมเนื่องจากขึ้นรูปได้ง่ายเผาแล้วไม่แตกหักง่าย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความทนทาน
5. ทั้งกระถางและอิฐปลุกกล้วยไม้ที่สังเคราะห์ได้มีการชะละลายธาตุอาหารออกมา และส่งผลให้พืชทดลองคือมะลิและกล้วยไม้เจริญเติบโตได้ดีอย่างมีนัยสำคัญแม้จะทดสอบเป็นระยะเวลาานกว่า 12 สัปดาห์และสอดคล้องกับผลการทดสอบการชะละลายธาตุอาหาร

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดสอบคุณสมบัติของยางที่แยกได้โดยการร่อนผ่านตะแกรงเพื่อหาแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป
2. การปรับปรุงสูตรของกระถางให้ใช้งานได้ยาวนานและมีธาตุอาหารที่ครบและควบคุมได้ โดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจนที่ยังมีอยู่ในปริมาณน้อยกว่าธาตุอื่นๆ
3. ควรมีการตรวจสอบเชิงลึกสำหรับพืชเพื่อยืนยันผลการเจริญเติบโต และผลดีด้านอื่นๆ ของการใช้วัสดุตั้งเคราะห์ที่มีส่วนผสมของกากจี้แป้งที่มาจากภายในของพืชเองเช่น การวิเคราะห์เอ็นไซม์ในพืชเป็นต้น

6. บรรณานุกรม

- สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม วราศรี เถกประสิทธิ์ 2543 “การนำกากซีเมนต์จากอุตสาหกรรมน้ำ
ยางขึ้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- วันชัย แก้วยอด 2540 “การตรวจสอบการจัดการน้ำเสียโรงงานยาง: กรณีศึกษาในจังหวัดสงขลา.”
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- วิภาพรรณ อุบล 2550 “การใช้ประโยชน์กากอินทรีย์จากอุตสาหกรรมน้ำยางขึ้น แปรรูปสัตว์น้ำ
และน้ำมันปาล์ม ในการเตรียมวัสดุปลูกหญ้าสนาม” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีประยุกต์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- สมทิพย์ ดำนธีรวนิษฐ์และคณะ 2545 “การตรวจสอบการจัดการของเสียของโรงงานน้ำยางขึ้น”
โครงการวิจัย 05011505 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- เสาวนีย์ ก่ออุทัยรังสี และคณะ 2547 “การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเตรียมปุ๋ยเหลวจากกากซีเมนต์
น้ำยางขึ้น” ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- เสาวนีย์ ก่ออุทัยรังสี 2543 “ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ” ภาควิชายางและเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
- ASTM C495 – 07 Standard Test Method for Compressive Strength of Lightweight Insulating
Concrete, American Society for Testing and Materials, PA, USA.
- ASTM C67 - 97 Standard Test Method of Sampling and Testing Brick and Structural Clay,
American Society for Testing and Materials, PA, USA.
- Blackley, D.C. 1997. Polymer Latices. vol. 2, Types of Latices, Chapman & Hall, London .
- Boonsean Teilnugultom. Soil Science. Faculty of Agricultural Technology and Industrial
Technology. Nakhon Sawan Rajabhat University. (Cited 2005). Available from:
http://www.nsrui.ac.th/e-learning/soil/index_1.php (accessed on March 16, 2009). (In Thai).
- Bouguerra A., De Barquin, F., Dheilily, R.M. and Que’neudec, M. (1998). Effect of
Microstructure on the Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Concrete Prepared
From Clay, Cement, and Wood Aggregates. Cement and Concrete Research. 28: 1179-1190.
- Burachat Chatveera (2002). Properties of Rice Husk Ash Brick, J. Natl. Res. Council Thailand,
Vol. 35, No. 1, 95-111 (In Thai).
- Calabria J.A., Vasconcelos, W.L, and Boccaccini, A.R. (2008). Microstructure and chemical
degradation of adobe and clay bricks. Ceramics International. 35:665-671.

- Gazeley K.F., Gorton A.D.T. and Pendle T.D. 1988. In: E.D. Roberts, Editor. Natural Rubber Science and Technology. Oxford Univ. Press, New York.
- Preeda Pimkaodam. (1999). Ceramic. Department of Material Science. Faculty of Science. Chulalongkorn University. (In Thai).
- Sathyseelan S. 2006. "Latex Sludge-An Alternate Cheap Phosphorus Source in Crop Production." World congress of soil science 18th Philadelphia Pennsylvania, USA, July. 9-15: 154-158.
- Vasconcelos W.L. (1997) Description of permeability in porous ceramics. *Ceramica*. 43: 120-123.
- White J.R. and De S.K., 2001. Rubber Technologist's Handbook. Rapra Technology Limited: UK.



รายงานการวิจัย

การชะโลหะหนักและแร่ธาตุจากของเสียและผลิตภัณฑ์กากขี้แป้งหลังการแยกเนื้อยาง
Industrial Prototype of Rubber Recovery Technology from Waste Latex Sludge
(โครงการย่อยที่ 3)

คณะผู้วิจัย

1. ผศ.ดร. ชันวดี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ หัวหน้าโครงการ
คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ดร. วิรัช ทวีปรีดา ผู้ร่วมวิจัย
สถานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน
ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
3. ผศ.ดร. ชัยศรี สุขสาโรจน์ ผู้ร่วมวิจัย
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

2554

บทคัดย่อ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

ชื่อโครงการ การชะโลหะหนักและแร่ธาตุจากของเสียและผลิตภัณฑ์กากซีพีแปปหลังการแยกเนื้อยาง

Nutrients and Heavy Metals Leaching from Waste Latex Sludge and Its Products after Rubber Content Recovery

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2553 จำนวนเงิน 420,000 บาท

ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ กรกฎาคม 2553 ถึง กรกฎาคม 2554

หน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัยพร้อมหน่วยงานที่สังกัดและเลขหมายโทรศัพท์

ผศ.ดร.ธันวดี เตชะภักทวารกุล สุขสาโรจน์

หน่วยงานที่สังกัด คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ 0-74-286-844 โทรสาร 0-74-429-758

ผศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์

หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ 0-74-287-116 โทรสาร 0-74-459-396

ผศ.ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกวงษ์

หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ 0-74-287-112 โทรสาร 0-74-459-396

ดร.วิรัช ทวีปรีดา

หน่วยงานที่สังกัด สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ 0-74-288-367 โทรสาร 0-74-446-925

ส่วนที่ 2 บทคัดย่อ

กากซีพีแปปจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น เป็นกากของเสียที่มีปริมาณมากและเป็นปัญหาในการนำไปกำจัด โรงงานน้ำยางข้นส่วนใหญ่กำจัดกากของเสียชนิดนี้โดยการถมดิน หรือกองทิ้งไว้ในบริเวณโรงงาน องค์ประกอบในของเสียชนิดนี้มีหลากหลายประกอบด้วยธาตุอาหาร โลหะ โลหะหนัก โดยเฉพาะธาตุอาหารที่มีอยู่สูงและสามารถถูกชะออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นการกองทิ้งบนดินอาจนำไปสู่การปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมใกล้เคียงได้ งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาองค์ประกอบที่มีอยู่ในกากของเสียซีพีแปป เพื่อพิจารณาความเป็นอันตรายของกากของเสียชนิดนี้ ติดตามความสามารถใน

การชะละลายขององค์ประกอบที่เป็นธาตุอาหารและโลหะหนักจากกากจี๊แป้งสด กากจี๊แป้งที่ผ่านการอบและร่อน รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจากวัตถุดิบที่มีกากจี๊แป้งเป็นส่วนผสม ผลการศึกษาพบว่า กากจี๊แป้งมีปริมาณธาตุอาหารอยู่สูง สามารถชะละลายออกมาได้ดีเมื่อสกัดด้วยน้ำ ปริมาณโลหะหนักมีอยู่น้อยมากและต่ำกว่าค่าที่ยอมให้มีได้ในน้ำสกัด เมื่อนำกากจี๊แป้งมาผ่านกระบวนการแยกเนื้ออย่างทั้งทางเคมีและกายภาพ พบว่า ส่วนที่เหลือจากกระบวนการแยกเนื้ออย่าง ยังมีธาตุอาหารอยู่สูง เมื่อนำกากจี๊แป้งทั้งก่อนและหลังการแยกเนื้ออย่าง มาขึ้นรูปเป็นกระถางและอิฐปลูกกล้วยไม้ และทดสอบใช้ปลูกมะลิและกล้วยไม้ พบว่าสามารถใช้ทดแทนวัสดุดินเหนียวได้เป็นอย่างดี การชะละลายจากเนื้อวัสดุที่มีกากจี๊แป้งเป็นส่วนผสม ทำให้ต้นไม้เจริญเติบโตได้ดีโดยไม่ต้องการการเติมปุ๋ยเพิ่มเติม

คำสำคัญ: ของเสีย กากจี๊แป้ง ธาตุอาหาร การชะละลาย น้ำยางขึ้น

The waste latex sludge produced from concentrated latex process is the high quantity waste and its removal is still the current problem for concentrated latex manufacturing. Currently most of concentrated latex manufacturing eradicate this waste by land dumping but only in the area of the manufacture. When this contains several components including inorganic, organic substances and metal especially the plant nutrients, the dumping on land may introduce the pollution into the environment nearby. This study aimed to determine the several contents existed in waste latex sludge in order to evaluate the hazardous characteristic of this waste and also to monitor their leaching from fresh, dried and sifted latex sludge, products which use this waste as a raw material. The result found was this waste contains high concentration of plant nutrients and they can be leached when was extracted by water whereas the heavy metal contents in the extracted solution are much lower than that allowed in the notification of Ministry of Industry, Thailand. After rubber separation processes both by chemical and physical methods, the remaining still contain high concentration of plant nutrients. The fresh and dried latex sludge were used as the raw material to produce planting material (pot and orchid brick) and these products were used to plant jasmine and orchid. The results showed that it can be used as a raw material that could support the plant growth well without the need of fertilizer addition.

Keywords: waste; latex sludge; plant nutrient, leaching, concentrated latex

1. บทนำ

น้ำยางสดที่จะเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำยางข้น จะมีการเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพ โดยแอมโมเนียจะเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนที่ถูกดูดซับที่ผิวของอนุภาคยาง และยังคงเกิดปฏิกิริยาได้กับ Multivalent metal ions เช่น Mg^{2+} ทำให้ได้ Magnesium ammonium phosphate ซึ่งจะตกตะกอน แยกออกจากน้ำยางเรียกว่ากากจีแป็ง และก่อนเข้าสู่เครื่องปั่นแยกจะมีการเติมสารเคมี Diammonium hydrogen phosphate (DAP) เพื่อทำการตกตะกอนกากจีแป็ง โดยปริมาณที่เติมจะ ขึ้นอยู่กับปริมาณแมกนีเซียมที่หลงเหลืออยู่ในน้ำยางสด กากจีแป็งจึงมีองค์ประกอบทั้งที่เป็น สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ รวมทั้งธาตุโลหะ เช่น Magnesium (Mg), และ Calcium (Ca) โลหะหนัก เช่น Zinc (Zn) ธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบของปุ๋ย เช่น Total Nitrogen (N), Total Phosphorus ใน รูปของ P_2O_5 , Total Potassium ในรูปของ K_2O รวมทั้งสารเคมีต่างๆที่ใช้กับน้ำยางสด กากจีแป็ง เป็นของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นที่ทางโรงงานไม่ต้องการและมีปริมาณมาก โดยจาก กระบวนการผลิตน้ำยางข้น 1 ตันเกิดกากจีแป็งประมาณ 12 กิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) กากจีแป็งเหล่านี้โรงงานส่วนใหญ่จะกองทิ้งไว้ภายในบริเวณโรงงาน และมักประสบปัญหากลิ่นเหม็น เนื่องจากในกากจีแป็งยังประกอบด้วยสารอินทรีย์บางส่วน โดยเฉพาะเนื้องานที่ปนไปกับกาก จีแป็งซึ่งเป็นการสูญเสียจากกระบวนการผลิตและมีความชื้น จึงเกิดการย่อยสลายและส่งกลิ่นเหม็น ได้ นอกจากปัญหากลิ่นเหม็นแล้ว ดังที่กล่าวข้างต้นว่า กากจีแป็งยังมีการปนเปื้อนสารต่างๆ มากมาย รวมทั้งสารเคมีต่างๆ ที่ใช้กับน้ำยางสด ซึ่งอาจทำให้เกิดผลเสียต่อสภาวะแวดล้อมได้ทั้งใน ดินและแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียง แม้ว่ามีงานวิจัยมากมายได้ศึกษาการนำกากจีแป็งจากอุตสาหกรรม น้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน (วราศรี เถกประสิทธิ์, 2542) เพื่อลดต้นทุน การผลิตของเกษตรกรสวนยาง แต่การนำของเสียกากจีแป็งไปทำเป็นวัสดุบำรุงกลับมีผลเสียต่อ ความพรุนตัวของดิน เนื่องจากเนื้องานที่เป็นองค์ประกอบเกิดการก่อตัวเป็นชั้นฟิล์ม ทำให้ดินอัด รวมตัวกันแน่น ส่งผลให้การนำกากจีแป็งไปใช้ประโยชน์เป็นวัสดุบำรุงไม่เป็นที่แพร่หลาย

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลกระทบจากกากจีแป็งที่มีการแยกเนื้องานเปรียบเทียบกับกาก จีแป็งที่ได้จากกระบวนการผลิต โดยทั่วไป และผลกระทบจากการนำกากจีแป็งมาใช้เป็นวัสดุทำ กระจกถาดต้นไม้และอิฐปลูกกล้วยไม้ โดยศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์และการชะละลายของธาตุ โลหะ โลหะหนัก และธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบของปุ๋ยจากกากจีแป็งและผลิตภัณฑ์จากกากจี แป็งที่ไม่มีการแยกเนื้องาน เปรียบเทียบกับกากจีแป็งและผลิตภัณฑ์จากกากจีแป็งที่ผ่านการแยกเนื้องาน เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการแยกเนื้องานออกจากของเสียกากจีแป็ง และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเทคโนโลยีดังกล่าว

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 น้ำยางข้น

น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex) ที่ได้จากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่น มีสภาพเป็นคอลลอยด์ (Colloid) หรือสารแขวนลอย (Dispersion) ซึ่งเกิดจากอนุภาคเม็ดยางกระจัดกระจายแขวนลอยอยู่ในสารที่เป็นตัวกลาง (Dispersion medium) น้ำยางสดจะมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ โดยทั่วไปเรียกสารตัวกลางนี้ว่า ซีรัม (Serum)

- ส่วนของอนุภาคเม็ดยาง ซึ่งมีอยู่ประมาณ 35% โดยน้ำหนักของน้ำยาง ขนาดของอนุภาคเม็ดยางอยู่ในช่วง 20-5000 นาโนเมตร โดยประมาณ 85% ของเม็ดยางโดยน้ำหนักมีขนาดเกิน 400 นาโนเมตร

- ส่วนที่เป็นน้ำ หรือซีรัม ซึ่งเป็นสารตัวกลาง มีอยู่ประมาณ 55% โดยน้ำหนักของน้ำยาง มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารชนิดต่าง เช่น คาร์โบไฮเดรตที่เป็นสารพวกแป้งและน้ำตาล โปรตีนและกรดอะมิโน และสารอื่นๆ

- ส่วนของอนุภาคอื่นๆ เช่น ลูทอยด์ และอนุภาคเฟรย์-วิสลิง เป็นส่วนที่เหลือของเกือบทั้งหมด ประมาณ 10% โดยน้ำหนักของน้ำยาง

ส่วนที่เป็นอนุภาคเม็ดยางหรือยางที่มีอยู่ในน้ำยางมีปริมาณไม่แน่นอน มีตั้งแต่ 22% จนถึง 48% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุ ระบบกริด และฤดูกาล ดังนั้นในการซื้อจากน้ำหนักหรือปริมาณของน้ำยางโดยตรงได้ จะใช้น้ำหนักของส่วนที่เป็นยางเรียกว่า DRC หรือ Dry Rubber Content โดยทั่วไปแล้วน้ำยางสดจะมีส่วนเป็นยางหรือ DRC เฉลี่ยประมาณ 35% ซึ่งน้ำยางสดซึ่งมี DRC เท่ากับ 35% สามารถเก็บไว้ใช้ประโยชน์ได้ เพียงแต่เติม Ammonia เพื่อป้องกันไม่ให้อนุภาคยางจับตัวกัน แต่การทำเช่นนี้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ เพราะน้ำยางมีน้ำมากเกินไป ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดน้ำออกก่อน เพื่อให้ยางมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (มีค่า DRC ประมาณ 60%) แล้วจึงเติมสารกันบูด (Preservative) เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางจับตัวภายหลัง น้ำยางที่มีการกำจัดน้ำออกเรียกว่า "น้ำยางข้น" (Concentrated Latex) ซึ่งแนวทางทำน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางข้นอย่างง่าย ๆ ได้ 3 วิธี ได้แก่

- การให้ความร้อนเพื่อให้ส่วนที่เป็นน้ำระเหยออกไปเรียกว่า (Evaporation Method) น้ำยางข้นที่ได้เรียก Evaporation Latex

- การเติมสารบางอย่าง ลงไปเพื่อทำให้อนุภาคยางโตขึ้นและหยุดการเคลื่อนที่เรียกว่า Creaming Method และน้ำยางที่ได้เรียก Creamed Latex

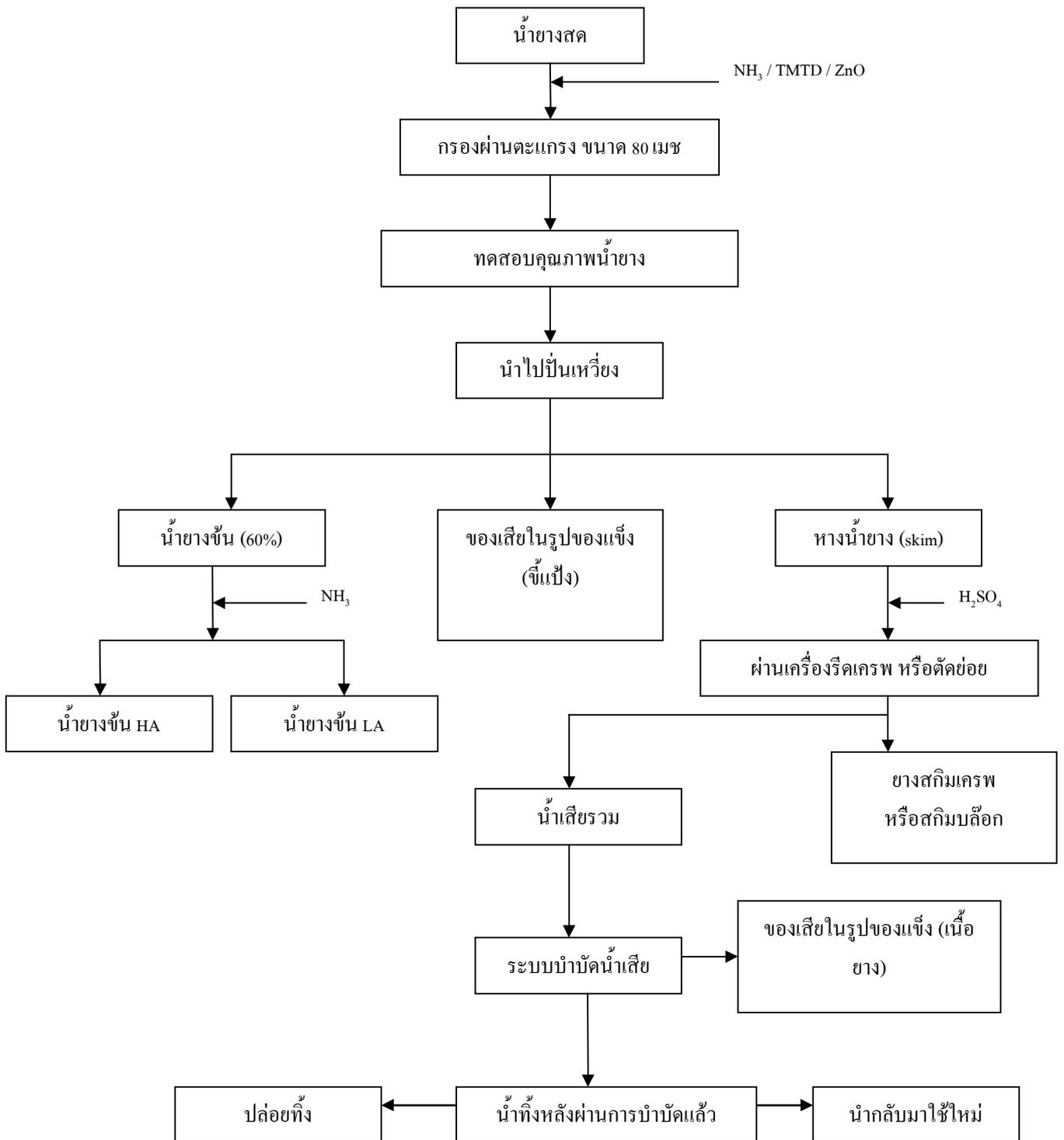
- การใช้แรงเหวี่ยง (Centrifuging Force) น้ำยางที่ได้เรียก Centrifuged Latex วิธีนี้นิยมกันมากเพราะทำได้เร็วและน้ำยางข้นที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นด้วย สำหรับประเทศไทยใช้วิธีนี้ในการผลิตน้ำยางข้นทั้งหมด

2.2 การผลิตน้ำยางข้น

การผลิตน้ำยางข้น ได้จากการนำน้ำยางสดที่รักษาสภาพสารเคมี แล้วนำมาปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง เพื่อแยกน้ำและสารอื่นๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำออกไปบางส่วน จะได้น้ำยางแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

- น้ำยางข้น 60% (Concentrated latex) ซึ่งการรักษาสภาพน้ำยางข้นที่ได้มีการใช้อยู่ 5 รูปแบบคือ น้ำยางข้นแอมโมเนียสูง ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.7 น้ำยางข้นแอมโมเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับสารละลายโซเดียมเพนตะกลอโรฟิเนตปริมาณร้อยละ 0.2 น้ำยางข้นแอมโมเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับสารละลายกรดบอริกปริมาณร้อยละ 0.24 น้ำยางข้นแอมโมเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับซิงค์ไดเอทิลไดไฮโอคาร์บาเมท (ในรูปดิสเพิซชัน) ปริมาณร้อยละ 0.2 และ น้ำยางข้นแอมโมเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับเตตระเมทิลโซลูเรมไดซัลไฟด์ (ในรูปดิสเพิซชัน) ปริมาณร้อยละ 0.013 และซิงค์ออกไซด์ (ในรูปดิสเพิซชัน) ปริมาณร้อยละ 0.013

- หางน้ำยาง (Skim latex) นำมาใส่ NH_3 แล้วเติม H_2SO_4 แล้วผ่านกระบวนการรีดเครพหรือตัดย่อย เพื่อผลิตเป็นสกินเครพ หรือ สกินบล็อก



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำยารุ่นและของเสียจากการผลิตน้ำยารุ่น

ที่มา : เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรัมย์, 2547

2.3 ของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะก่อให้เกิดของเสียหลัก 2 ส่วน คือ กากจีแป็งและน้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆของกระบวนการผลิต แสดงดังรูปที่ 1

กากจีแป็งที่ได้จากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตน้ำยางข้น จะมีปริมาณโดยเฉลี่ย 1,500-2,000 กิโลกรัมต่อวัน กากจีแป็งสดที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำยางข้นจะมีลักษณะคล้ายโคลนตม สีขาวเทา บางครั้งมีสีเหลือง เนื้อละเอียด ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และซีลีเนียม กากจีแป็งมีสภาพค่อนข้างเป็นกลาง

- ลักษณะเบื้องต้นของกากจีแป็ง

กากจีแป็งสดจะมีลักษณะคล้ายโคลนตม สีขาวเทา บางครั้งมีสีเหลือง เนื้อละเอียด ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และซีลีเนียม (Blackley, 1997) กากจีแป็งมีสภาพค่อนข้างเป็นกลาง โดยในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีการเติมแอมโมเนียลงไปใต้น้ำยางสด หลังจากนั้นทำการปล่อยน้ำยางเข้าทางท่อรับน้ำยางส่วนบนสุดของตัวเครื่องปั่นแยกน้ำยาง เครื่องปั่นจะทำการปั่นแยกน้ำยางได้น้ำยางข้น หางน้ำยาง และกากจีแป็ง ในขณะที่ทำการปั่นแอมโมเนียที่มีอยู่ในกากจีแป็งมีน้อย เมื่อนำมาวัดค่า pH ในกากจีแป็งจึงได้ค่าที่ค่อนข้างจะเป็นกลาง (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547)

- ความหนาแน่นของกากจีแป็ง

กากจีแป็งจะมีสิ่งเจือปนอื่นมากกว่าน้ำยางสด ทำให้กากจีแป็งมีความหนาแน่นมากกว่า ซึ่งน้ำยางสดโดยทั่วไปมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.975 – 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร อนุภาคยางมีความหนาแน่น 0.92 กรัมต่อมิลลิลิตร (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2543) เมื่อนำน้ำยางสดมาทำการปั่นด้วยเครื่องเซนตริฟิวส์ด้วยความเร็ว 20,000 รอบต่อนาที จะสามารถแยกส่วนของอนุภาคยาง เซรัมและกากจีแป็งออกจากกันได้ ซึ่งความหนาแน่นของกากจีแป็งมีค่าประมาณ 1.16 – 1.63 กรัมต่อมิลลิลิตร เนื่องจากส่วนประกอบของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำยาง ได้แก่ เรซิน โลหะหนัก แป้ง โปรตีน ไขมัน และสารเคมีที่เติมลงไปก่อนนำน้ำยางมาผลิตเป็นน้ำยางข้น เช่น การเติม NH_3 , TMTD และ ZnO เพื่อเก็บรักษาน้ำยาง และมีการเติม DAHP ลงไปเพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียม ดังนั้นเมื่อทำการปั่นแยกน้ำยางด้วยเครื่องเซนตริฟิวส์ ส่วนประกอบของกากจีแป็งจะมีลักษณะเป็นโคลนตมสีเหลือง หรือสีขาวเทา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารพวกแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และซีลีเนียม ทำให้กากจีแป็งมีความหนาแน่นที่สูงกว่าน้ำยางประมาณ 18.97 – 66.33%

- ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) และปริมาณความชื้น (MC)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของกากจีแป็งส่วนใหญ่จะประกอบด้วยฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากการเติม DAHP (Diammonium hydrogen phosphate) เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยาง โดย DAHP (Diammonium hydrogen phosphate) จะทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมกลายเป็น Magnesium ammonium phosphate ตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออก

จากน้ำยางตรงบริเวณถึงพักน้ำยาง เมื่อนำน้ำยางสดมาเซนตริฟิวส์ด้วยถังปั่น ตะกอนที่เหลืออยู่จะรวมอยู่ในส่วนของกากจีแป็ง นอกจากนี้ยังมีสารพวกโปรตีน คาร์โบไฮเดรต แป้ง น้ำตาลและส่วนประกอบอื่นๆที่มีอยู่ในน้ำยาง (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2543) ส่วนของลูทอย์ในน้ำยางที่บวมแล้วเกิดการแตก ของเหลวภายในซึ่งเป็นสารแขวนลอยที่มีประจุบวกและไอออนของโลหะ เช่น แคลเซียมไอออน และแมกนีเซียมไอออนจะกระจายอยู่ในน้ำยาง ส่วนผนังชั้นเดียวที่เป็นเยื่อบางของลูทอย์ที่แตกออกมีรูปร่างไม่แน่นอน จะเกิดจากการจับตัวกันเองเป็นก้อนติดอยู่บนผิวนอกของอนุภาคยางทำให้อนุภาคยางเกิดการสูญเสียความเสถียรได้ง่าย แยกตัวออกจากเนื้อยางและเกาะรวมกันอยู่ด้านล่างซึ่งเป็นส่วนของกากจีแป็งสามารถแยกออกได้เมื่อเซนตริฟิวส์ สำหรับอนุภาคเฟรย์-วิลลิงซึ่งเป็นสาร ไม่ใช่ยางมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายาง แต่ความหนาแน่นน้อยกว่า มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้นมีปริมาณไม่มากนักประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาโรทีนอยด์ (Blackley, 1997) สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรุ่ม เมื่อทำการปั่นก็สามารถแยกออกมาอยู่ในส่วนของกากจีแป็ง ส่วนปริมาณของความชื้นที่มีอยู่ในกากจีแป็งส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยส่วนของน้ำและแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในกากจีแป็งหลังการเซนตริฟิวส์ ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าประมาณ 58.05-62.96% โดยน้ำหนัก และความชื้นประมาณ 37.05-41.95% โดยน้ำหนัก

- ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ (FS) และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้

ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ส่วนใหญ่ในกากจีแป็ง ประกอบไปด้วยสารพวกคาร์บอนและพวกโลหะหนักที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิ 550 ± 50 องศาเซลเซียส ส่วนพวกสารอินทรีย์อื่นๆที่มีอยู่ในกากจีแป็งจะเกิดการระเหยกลายเป็นแก๊สซึ่งส่วนนี้คือปริมาณของที่ระเหยได้ (APHA, AWWA and WEF 1998) ซึ่งกากจีแป็งมีปริมาณของแข็งคงอยู่มีค่าระหว่าง 24-28% โดยน้ำหนัก และของแข็งที่ระเหยได้มีค่าระหว่าง 72-76% โดยน้ำหนัก (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547)

- ปริมาณธาตุอาหารที่มีในกากจีแป็ง

หากนำกากจีแป็งมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24-48 ชั่วโมงเพื่อเอาน้ำ เซรุ่ม และแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในกากจีแป็งออก บดกากจีแป็งอบแห้งให้เป็นผงละเอียดพบว่ากากจีแป็งอบแห้งมีปริมาณธาตุอาหารดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณธาตุอาหารของกากจี้เป้งอบแห้ง

ธาตุอาหาร	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)
1. ไนโตรเจน (N)	3.07-3.65
2. ฟอสฟอรัส (P)	14.22-15.17
3. โพแทสเซียม (K)	0.79-1.20
4. โลหะหนัก	
4.1 แมกนีเซียม (Mg)	11.69-12.86
4.2 สังกะสี (Zn)	0.37-0.98
4.3 แคลเซียม (Ca)	0.01-0.06

ที่มา : เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรัมย์, 2547

ปริมาณไนโตรเจนในกากจี้เป้งอบแห้งส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนของโปรตีนบนอนุภาคของยางที่สลายตัวออกมาและเป็นส่วนของผนังลูทอยด์ซึ่งเกาะบนอนุภาคยางแล้วทำให้อนุภาคยางเกิดการสูญเสียสภาพจับตัวเป็นก้อน เมื่อทำการเซนตริฟิวส์จึงรวมตัวอยู่ในส่วนของกากจี้เป้ง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนในกากจี้เป้ง สำหรับสารละลายแอมโมเนียที่เติมลงไปใต้น้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยางนั้น จะเกิดการระเหิดกลายเป็นไอในระหว่างการนำกากจี้เป้งไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะไม่เหลืออยู่ในกากจี้เป้ง จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่ากากจี้เป้งอบแห้งมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 3.07-3.65% โดยน้ำหนัก

ปริมาณฟอสฟอรัส (Total Phosphorus) ส่วนใหญ่ได้มาจากการเติม DAHP (Diammonium hydrogen phosphate) เพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางสด จากตารางที่ 2.1 พบว่ากากจี้เป้งจะมีธาตุฟอสฟอรัสประมาณ 14.22-15.17% โดยน้ำหนัก

ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่มีอยู่ในกากจี้เป้งคาดว่าได้จากอนุภาคยาง และเซรุ่มที่เหลือจากการเซนตริฟิวส์ และจากแร่ธาตุที่ต้นยางพาราดูดซึมมาจากดิน ซึ่งจากตารางที่ 2.1 พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในกากจี้เป้งประมาณ 0.79-1.20% โดยน้ำหนัก

สำหรับส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ ธาตุโลหะและโลหะหนัก เกิดจากการเติมสารเคมีระหว่างกระบวนการขนส่งและกระบวนการผลิต โดยน้ำยางสดจากสวนก่อนนำมาผลิตเป็นน้ำยางข้น จะมีการเติม DAHP (Diammonium hydrogen phosphate) ที่ใส่ลงไปใต้น้ำยางสด เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยาง โดย DAHP (Diammonium hydrogen phosphate) ทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ Magnesium ammonium phosphate สารนี้จะ

ตกตะกอนหรือจะถูกแยกออกจากน้ำยาง โดยปริมาณแมกนีเซียมที่อยู่ในกากจีแป็ง คาดว่าเป็นส่วนของตะกอนที่เหลืออยู่ในน้ำยางสดที่ทำการตกตะกอนแมกนีเซียมออกไปแล้ว เมื่อเซนตริฟิวส์ด้วยถังปั่น แมกนีเซียมที่เหลืออยู่ก็จะรวมอยู่ในส่วนของกากจีแป็งจากตารางที่ 2.1 พบว่าในกากจีแป็งมีธาตุแมกนีเซียมโดยเฉลี่ยประมาณ 11.69-12.86% โดยน้ำหนัก นอกจากนี้กากจีแป็งยังมีธาตุอื่นๆอีก ได้แก่ สังกะสีและแคลเซียม มีค่าประมาณ 0.37-0.98 และ 0.01-0.06% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยปริมาณของสังกะสีได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีการเติมซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้เป็นสารกระตุ้น และเก็บรักษาน้ำยางจึงทำให้มีสังกะสีในกากจีแป็งและแคลเซียมได้จากลูทอยด์โดยในสภาพอากาศร้อนอุณหภูมิสูงขึ้น ลูทอยด์จะเกิดการแตกตัวทำให้ของเหลวที่อยู่ในลูทอยด์ซึ่งมีลักษณะเป็นสารแขวนลอยเกิดการไหล และปะปนรวมอยู่ในเซรุ่มเมื่อเซนตริฟิวส์สารแขวนลอยจะประกอบไปด้วยประจุบวก และไอออนของโลหะ เช่น แคลเซียม อีออน และแมกนีเซียมอีออน พวกโลหะหนักเหล่านี้ก็จะรวมอยู่ที่ก้นถังกลายเป็นกากจีแป็งสามารถแยกออกมาได้ แต่ปริมาณของแคลเซียมที่พบในกากจีแป็งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าของธาตุตัวอื่นๆ

2.4 การจัดการกากจีแป็ง

โรงงานผู้ผลิตน้ำยางข้นส่วนใหญ่จะทำการเก็บรวบรวมตะกอนกากจีแป็งและนำไปกองทับถมในพื้นที่ว่างภายในบริเวณโรงงานทำให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็น และก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยมากมายได้รายงานถึงการนำกากจีแป็งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน (วราศรี เถกประสิทธิ์, 2542) การผลิตปุ๋ยฟอสเฟตสำหรับสวนยางจากกากจีแป็ง เพื่อลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร และลดมลภาวะในสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำยางข้น แต่การนำของเสียกากจีแป็งไปทำเป็นวัสดุบำรุงจะมีผลเสียต่อความชุ่มชื้นของดิน เนื่องจากขงที่เป็นองค์ประกอบจะก่อตัวเป็นชั้นฟิล์ม ทำให้ดินอัดรวมตัวกันแน่น และเกิดการปนเปื้อนของสารเคมีที่มีอยู่ในกากจีแป็งต่อแหล่งน้ำจากการชะล้างได้

3. ระเบียบวิธีดำเนินการ

3.1 ตำราวจุดกำเนิดและศึกษาองค์ประกอบของกากจี้แ่งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

- ตำราวจุดกำเนิดของกากจี้แ่งตั้งแต่การผลิตน้ำยางสดในสวนยางจนถึงกระบวนการผลิตน้ำยางข้นในโรงงาน

- วิเคราะห์ปริมาณเนื้อยางในกากจี้แ่งที่ได้จากชั้นตอนต่างๆ โดยแยกทำการศึกษาด้วยการนำกากจี้แ่งที่ได้มาใหม่ๆ มาละลายน้ำ ทำการปั่นกวนให้เข้ากัน ก่อนทำให้เนื้อยางจับตัวด้วยกรดอ่อน ทำการอบแห้งและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก

- วิเคราะห์ค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ในกากจี้แ่ง ได้แก่ Mg Ca Zn Total Nitrogen (N) Nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^- \text{N}$) Total Phosphorus (P_2O_5) และ Total Potassium (K_2O) รวมทั้งปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM)

โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของกากจี้แ่งที่ได้จากกระบวนการผลิตตามปกติและกากจี้แ่งที่แยกเนื้อยางออก (จากโครงการย่อยที่ 1 และ 2)

3.2 ศึกษาอัตราการย่อยสลายของกากจี้แ่งทั่วไปและกากจี้แ่งที่ผ่านกระบวนการแยกเนื้อยาง

- สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างกากจี้แ่งจากกองกากจี้แ่งจากกระบวนการผลิตทั่วไป และกองกากจี้แ่งที่ผ่านการแยกเนื้อยาง ซึ่งกองทิ้งตามธรรมชาติภายในพื้นที่โรงงาน

- ตรวจวัดปริมาณ OM ของตัวอย่างกากจี้แ่งจากกองกากจี้แ่งจากกระบวนการผลิตทั่วไป และกองกากจี้แ่งที่ผ่านการแยกเนื้อยาง ซึ่งกองทิ้งตามธรรมชาติภายในพื้นที่โรงงาน

- ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มจุลินทรีย์ในกองกากจี้แ่งจากกระบวนการผลิตทั่วไป และกองกากจี้แ่งที่ผ่านการแยกเนื้อยาง ซึ่งกองทิ้งตามธรรมชาติภายในพื้นที่โรงงาน โดยตรวจวัดปริมาณกลุ่มจุลินทรีย์ด้วยวิธี spread plate และ pour plate

ทำการเก็บตัวอย่างและตรวจวิเคราะห์ ทุก 7 วัน เป็นระยะเวลา 2 เดือน

3.3 ศึกษาการชะละลายของธาตุโลหะ โลหะหนัก และธาตุอาหารจากกองกากจี้แ่งทั่วไปและกากจี้แ่งที่ผ่านกระบวนการแยกเนื้อยาง

- การทดลองในห้องปฏิบัติการ

นำตัวอย่างกากจี้แ่งจากกระบวนการผลิตทั่วไป และกากจี้แ่งที่ผ่านการแยกเนื้อยางมาแช่ในน้ำกลั่น เก็บตัวอย่างน้ำชะละลายมาวิเคราะห์ค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณ Mg Ca Zn Total Nitrogen (N) Nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^- \text{N}$) Total Phosphorus (P_2O_5) และ Total Potassium (K_2O) ทุก 7 วัน เป็นระยะเวลา 2 เดือน

- การทดลองในภาคสนาม

เก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ทำการกอกากชี้เป้่งจากกระบวนการผลิตทั่วไป และกอกากชี้เป้่งที่ผ่านการแยกเนื้ออย่างมาวิเคราะห์ปริมาณ Mg Ca Zn Total Nitrogen (N) Nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^- \text{N}$) Total Phosphorus (P_2O_5) และ Total Potassium (K_2O) ทุก 7 วัน เป็นระยะเวลา 2 เดือน

3.4 ศึกษาการชะละลายของธาตุโลหะ โลหะหนัก และธาตุอาหารจากผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจากกากชี้เป้่งทั่วไปและกากชี้เป้่งที่ผ่านกระบวนการแยกเนื้ออย่าง (ผลิตภัณฑ์จากโครงการย่อยที่ 2)

- นำตัวอย่างอิฐดินเผาที่มีส่วนผสมของกากชี้เป้่งจากกระบวนการผลิตทั่วไป และกากชี้เป้่งที่ผ่านการแยกเนื้ออย่าง มาแช่ในน้ำกลั่น เก็บตัวอย่างน้ำชะละลายมาวิเคราะห์ค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณ Mg Ca Zn Total Nitrogen (N) Total Phosphorus (P_2O_5) และ Total Potassium (K_2O) ทุก 7 วัน เป็นระยะเวลา 2 เดือน

- นำตัวอย่างกระดางต้นไม้ และอิฐปลุกกล้วยไม้มาทดสอบการชะละลายเช่นเดียวกับอิฐดินเผา

4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 แหล่งกำเนิดและปริมาณกากชี้เป้่ง

ในงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ไม่ได้ระบุโดยชัดเจนว่าในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น มีกากของเสียชี้เป้่งเกิดขึ้นทั้งหมดกี่จุด และยังไม่มีการวิเคราะห์คุณสมบัติของกากชี้เป้่งที่เกิดจากจุดกำเนิดต่างกัน ซึ่งผลการสำรวจกระบวนการผลิตน้ำยางข้นตั้งแต่สวนยางพาราจนถึงโรงงานตามเส้นทางขนส่งมีดังนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลภาคสนามเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดกากของเสียชี้เป้่งในเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม 2553 พบว่า จากสวนยางจนถึงกระบวนการผลิตในโรงงาน มีจุดกำเนิดกากชี้เป้่งมีทั้งหมด 5 จุด คือ 1. ภายในรถบรรทุกน้ำยางสดจากแหล่งรับซื้อน้ำยางสดรายใหญ่ (ซึ่งเป็นร้านรับซื้อน้ำยางจากเกษตรกรรายย่อย) 2. บ่อรับน้ำยางสดภายในโรงงาน 3. เครื่องปั่นแยกภายในโรงงาน 4. บ่อดักจับยางสกิมภายในโรงงาน และ 5. จุดเทรวมกากชี้เป้่งภายในโรงงาน ในจุดที่ 1 ไม่สามารถทำการเก็บตัวอย่างได้ ส่วนในจุดที่ 2 และ 4 มีปริมาณเกิดขึ้นน้อย จุดที่ 3 เป็นจุดกำเนิดกากชี้เป้่งปริมาณมากที่สุด แต่มีปริมาณไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบที่เข้าสู่โรงงาน ทั้งนี้สุดท้ายกากชี้เป้่งทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปกองเทรวมกันในจุดที่ 5 ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงนำกากชี้เป้่งจากจุดที่ 5 มาศึกษาองค์ประกอบ ศึกษาการแยกเนื้ออย่างและพัฒนาผลิตภัณฑ์

4.2 ลักษณะสมบัติของกากซีเมนต์

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกากซีเมนต์มีวัตถุประสงค์เพื่อการพิจารณาความเป็นของเสียอันตรายของกากซีเมนต์โดยการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆจะทำการตรวจสอบในน้ำสกัดจากกากซีเมนต์ตามวิธี Waste Extraction Test (WET) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ตัวอย่างกากซีเมนต์ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ ซึ่งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ได้กำหนดพารามิเตอร์ในการตรวจวัดได้แก่ เนื้อเยื่อ pH ค่าการนำไฟฟ้า ไนโตรเจนทั้งหมด ไนโตรเจนในโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณอินทรีย์วัตถุ แมกนีเซียม แคลเซียม และสังกะสี แต่ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดกากซีเมนต์นั้นมีการเติมสารเคมีที่ใช้ในการรักษาสภาพน้ำยางสดและสารเคมีที่ใช้เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยาง สารเคมีเหล่านี้เป็นสารเคมีอันตรายที่คาดว่าจะมีการตกค้างในกากซีเมนต์ ได้แก่ แอมโมเนียมเตตระเมทิลไทอูเรมไดซัลไฟด์ (ไม่มีวิธีการตรวจวิเคราะห์ได้ในปัจจุบัน) ซิงค์ออกไซด์ (ตรวจวิเคราะห์ในรูปของสังกะสี) และไดแอมโมเนียมไดซัลไฟด์ ทางคณะผู้วิจัยจึงทำการตรวจวิเคราะห์ แอมโมเนียม เพิ่มเติม นอกจากนี้ในการที่จะระบุว่ากากซีเมนต์เป็นวัตถุอันตรายหรือไม่ ต้องมีการวิเคราะห์แร่ธาตุและโลหะหนักเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ดังนั้นตัวอย่างกากซีเมนต์จึงถูกทำการวิเคราะห์แร่ธาตุและโลหะหนักพร้อมด้วย ซึ่งผลการวิเคราะห์เป็นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติของกากของเสียขี้เป้ง

สมบัติ	หน่วย	ความเข้มข้น	STLC* (mg/L)
Organic Matter	%w/w	21.06	-
Total N	%w/w	1.79	-
Total P	%w/w	4.02	-
Total K	%w/w	1.13	-
NO ₃ ⁻	mg/kg	88.45	-
NH ₃ ⁺	%w/w	0.18	-
Mg	mg/L	10.26	-
Ca	mg/L	8.471	-
Zn	mg/L	0.245	250.00
Ag	mg/L	0.001	5.00
Al	mg/L	0.115	-
As	mg/L	0.023	5.0 0
Ba	mg/L	0.014	100.00
Cd	mg/L	0.001	1.00
Cr	mg/L	0.012	5.00
Cu	mg/L	0.019	25.00
Fe	mg/L	0.061	-
Mn	mg/L	0.011	-
Ni	mg/L	0.013	20.00
Pb	mg/L	0.002	5.00
Se	mg/L	0.025	1.00

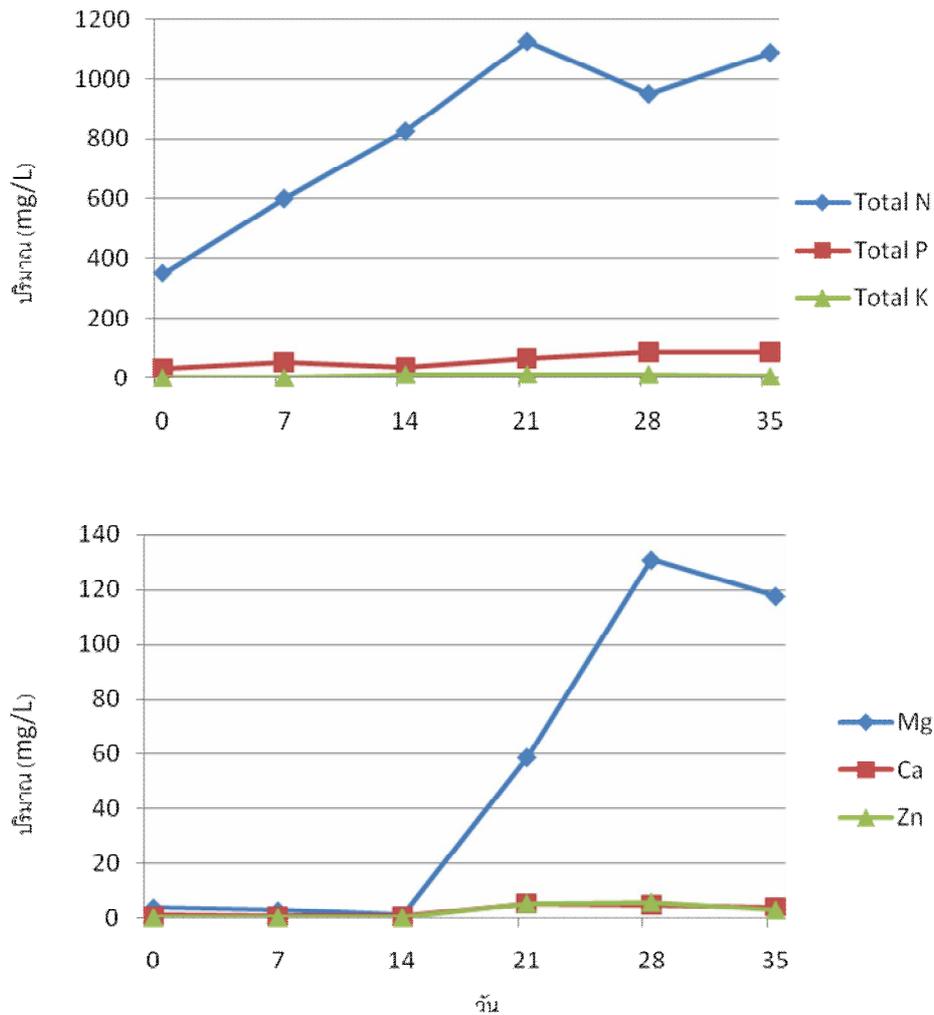
*Soluble Treshold Limit Detection

จากการตรวจวิเคราะห์ในเบื้องต้น พบว่า ปริมาณของแร่ธาตุและโลหะหนักบางชนิด ซึ่งเป็นค่าที่ระบุให้มีการตรวจวัดในสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วจากโรงงานอุตสาหกรรม (ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548) ในน้ำสกัดจากกากขี้เป้งมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน (Soluble Treshold Limit Detection)

4.3 การชะละลายของธาตุอาหารและแร่ธาตุบางชนิดจากกากจี้แป้ง

4.3.1 การทดสอบชะละลายธาตุอาหารและแร่ธาตุบางชนิดจากกากจี้แป้งสดในห้องปฏิบัติการ

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการจัดการกากจี้แป้งที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางชั้นส่วนใหญ่ในปัจจุบัน เป็นการกองทิ้ง ฝังกลบ ทำคันดิน ถมที่ เฝ้า ในบริเวณภายในโรงงานเท่านั้น เนื่องจากผู้ประกอบการประสบปัญหาเรื่องการขนย้ายกากจี้แป้งออกไปกำจัดภายนอกโรงงาน เพราะการตีความว่ากากจี้แป้งเป็นของเสียอันตรายหรือไม่ยังไม่มีความชัดเจนและขาดสถานประกอบการรับกำจัดของเสียอันตรายในพื้นที่ แม้ในคู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมรายสาขา เรื่อง อุตสาหกรรมยางพาราของกรมโรงงานอุตสาหกรรม จะกำหนดแนวทางในการกำจัดกากจี้แป้งไว้คือ การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล แต่เมื่อการตีความประเภทของกากจี้แป้งไม่มีความชัดเจน การจะนำไปฝังกลบตามแนวทางดังกล่าวก็ไม่สามารถมั่นใจได้ว่าจะสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หรือไม่ ดังนั้นเพื่อเป็นการศึกษาถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการกองกากจี้แป้งไว้ใน โรงงาน รวมทั้งเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการทำการศึกษาการชะละลายของธาตุอาหารจากผลิตภัณฑ์เพื่อการเกษตรที่มีส่วนผสมของกากจี้แป้ง (โครงการย่อยที่ 2) คณะผู้วิจัยจึงทำการทดสอบการชะละลายของธาตุอาหารจากกากจี้แป้ง โดยนำกากจี้แป้งมาสกัดในน้ำกลั่นที่ แล้วทำการเก็บตัวอย่างสารละลายมาทำการตรวจวิเคราะห์หองค์ประกอบที่เวลาต่างๆ ผลการศึกษาเป็นดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารสำคัญที่ถูกชะละลายออกจากกากชี้แป้งสดที่สกัดด้วยน้ำกลั่นน้ำกลั่น

จากการตรวจวิเคราะห์น้ำชะละลายกากชี้แป้ง จะเห็นว่าธาตุอาหารที่ถูกชะออกมาในปริมาณสูงสุด คือ ไนโตรเจน รองลงมา ได้แก่ แมกนีเซียม และ ฟอสฟอรัส ตามลำดับ สำหรับโปตัสเซียม แคลเซียม และ สังกะสี มีการชะออกมาในปริมาณเพียงเล็กน้อย จึงสามารถสังเกตได้ในเบื้องต้นว่า ธาตุอาหารหลักโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่สามารถชะละลายออกจากกากชี้แป้งในปริมาณสูง ซึ่งสามารถให้ข้อสังเกตเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นได้เมื่อมีการกองกากชี้แป้งไว้บนดินในสิ่งแวดล้อมทั่วไปโดยไม่มีกากกักกันการชะละลาย โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ที่มีฝนตกชุก การชะละลายธาตุอาหารที่แม้ไม่มีความเป็นพิษแต่มีความเข้มข้นสูงอย่างต่อเนื่อง มีโอกาสที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะหากมีการชะละลายแล้วไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น รายงานของ Arimoro (2009) ซึ่งระบุว่าน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นสามารถปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมบริเวณแหล่งรองรับน้ำทิ้งและเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

ในขณะเดียวกัน ความสามารถในการชะละลายของธาตุอาหารเหล่านี้ ทำให้โครงการวิจัยนี้สนใจการนำมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการเกษตร แต่การนำมาใช้เป็นปุ๋ยและวัสดุปรับปรุงดินโดยตรงนั้น อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินจากปริมาณขงที่ปะปนในกากซีเมนต์ ในชุดโครงการนี้จึงสนใจขึ้นรูปเป็นกระถางต้นไม้ (โครงการย่อยที่ 2) และวัสดุปลูกกล้วยไม้ ทั้งนี้ผลศึกษาความสามารถในการชะละลายเมื่อกากซีเมนต์ถูกใช้เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตจะกล่าวในตอนต่อไป

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบอื่นๆ โดยเฉพาะแร่ธาตุและโลหะหนักบางชนิด ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ในน้ำสกัดจากกากซีเมนต์พบในปริมาณน้อยและไม่เกินค่ามาตรฐานทั้งหมดนั้น พบว่าจากการติดตามผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำชะละลายที่เวลา 24 ชม. 1 อาทิตย์และ 2 อาทิตย์ พบการชะแร่ธาตุและโลหะหนักในปริมาณน้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ยกเว้นกลุ่มธาตุอาหารรอง ได้แก่ แมกนีเซียมและสังกะสี พบการชะออกมาในปริมาณสูงกว่าธาตุโลหะชนิดอื่นๆ ดังนั้นหากพิจารณาปริมาณโลหะหนักดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 กากซีเมนต์ประกอบด้วยโลหะหนักในปริมาณต่ำมากและไม่เป็นพิษ

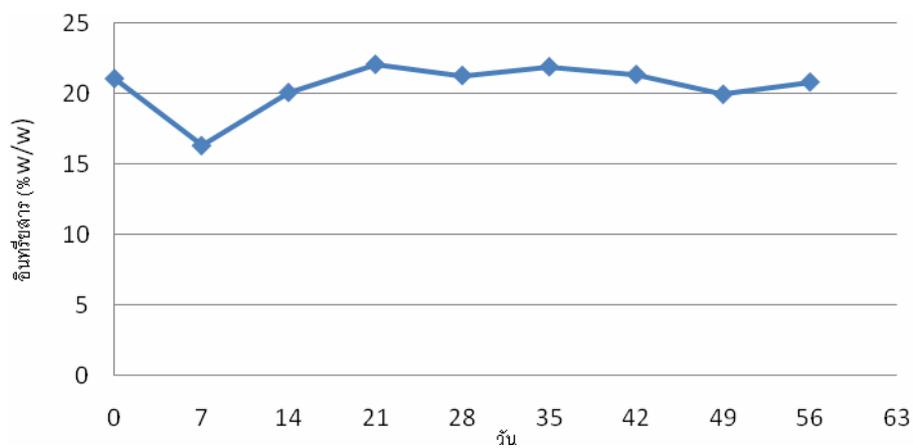
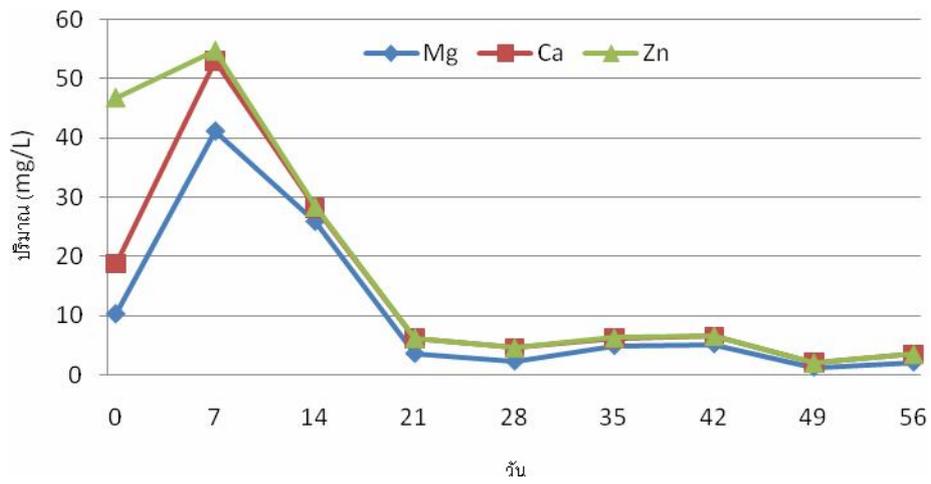
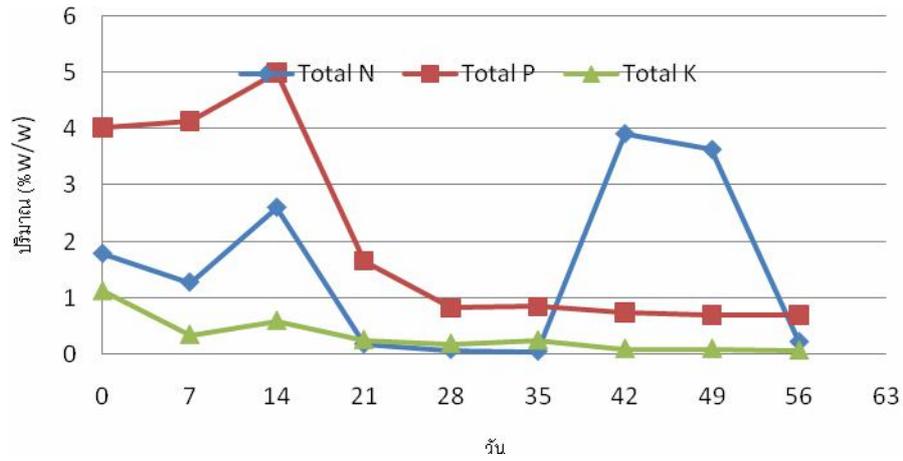
ตารางที่ 4.2 ปริมาณแร่ธาตุและโลหะหนักบางชนิดที่ถูกชะละลายออกจากกากซีเมนต์สกัดด้วยน้ำกลั่น

ธาตุ	ปริมาณ (mg/L)		
	24 ชม.	7 วัน	14 วัน
Ag	0.011	<0.001	<0.001
Al	0.111	0.012	0.006
As	0.011	<0.001	<0.001
Ba	0.01	0.016	0.021
Ca	0.341	0.539	0.0205
Cd	0.004	<0.001	<0.001
Cr	<0.001	<0.001	0.002
Cu	0.038	0.042	0.018
Fe	0.104	0.095	0.154
Mg	1.486	15.58	37.09
Mn	0.005	0.014	0.042
Ni	<0.001	0.006	0.006
Pb	<0.001	<0.001	<0.001
Se	0.035	0.042	0.034
Zn	0.136	0.399	0.326

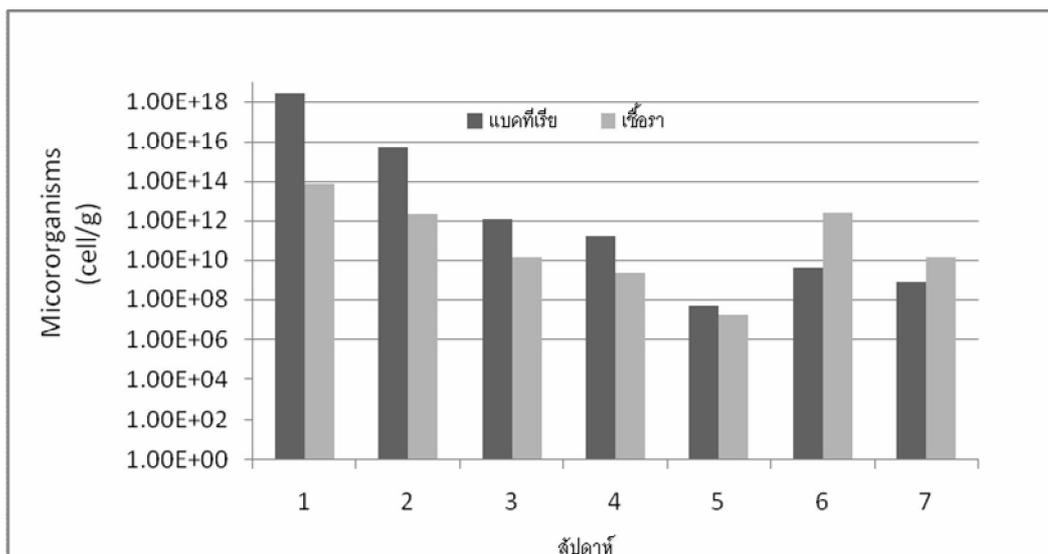
4.3.2 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารและแร่ธาตุในกองกากจี้เป้งที่กองทิ้งไว้ใน สิ่งแวดล้อมทั่วไป

- การเปลี่ยนแปลงในกากจี้เป้ง

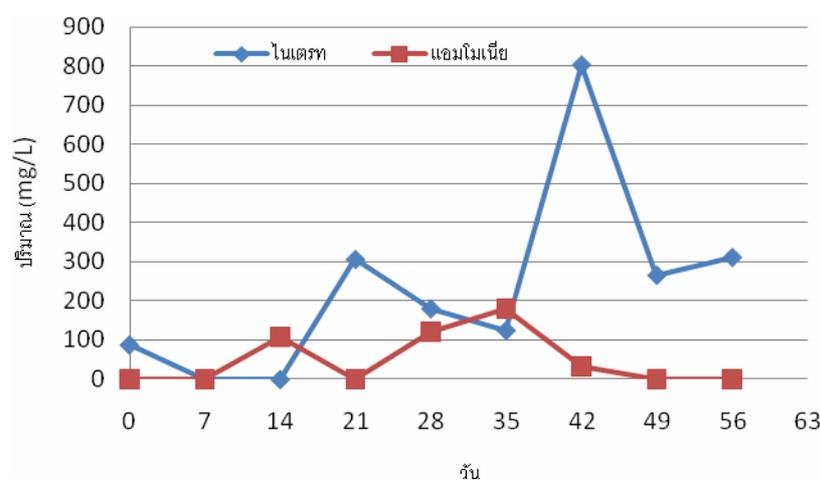
กากจี้เป้งสดเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตในโรงงานน้ำยางชั้นที่ทางโรงงานไม่ต้องการและมีปริมาณมาก และไม่สามารถขนออกนอกโรงงาน แนวทางปฏิบัติทั่วไปที่ผ่านมา โรงงานน้ำยางชั้นส่วนใหญ่มีการกองกากจี้เป้งทิ้งไว้ในพื้นที่โรงงานและปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติซึ่งใช้เวลานาน การศึกษาส่วนนี้เป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติในกากจี้เป้งที่ถูกกองทิ้งไว้ (โดยไม่มีการกองซ้ำ) โดยทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง Organic Matter NH_3^+ และ NO_3^- ในกากจี้เป้งสดทุกๆ 7 วัน ระยะเวลา 56 วัน เพื่อพิจารณาถึงความสามารถในการย่อยสลายกากจี้เป้ง ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารและแร่ธาตุบางชนิดซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดกากจี้เป้ง มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยลดลง บางช่วงอาจมีการปรับค่าสูงขึ้นบ้าง อาจเนื่องจากการกระจายตัวของธาตุอาหารและแร่ธาตุดังกล่าวในเนื้อกากจี้เป้งมีความไม่สม่ำเสมอ แต่ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงเป็นการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ประกอบการตรวจวัดปริมาณอินทรีย์สารในสารสกัดกากจี้เป้งพบว่า เป็นไปเช่นเดียวกับสารอื่นๆคือ ลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลา 56 วันทำการทดลอง นอกจากนี้ จากการตรวจวัดปริมาณจุลินทรีย์สองกลุ่มในกองกากจี้เป้ง พบว่าปริมาณจุลินทรีย์มีปริมาณลดลงเล็กน้อยอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจุลินทรีย์ในกองกากจี้เป้งอาจสามารถดูดซึมสารอาหารที่มีอยู่ในกากจี้เป้งได้ แต่คาร์บอนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักมีอยู่ในกากจี้เป้งซึ่งย่อยสลายได้ยากจึงทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว (รูปที่ 4.3) ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าการย่อยสลายกากจี้เป้งในธรรมชาติในช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลองเกิดขึ้นน้อยมาก ส่วนปริมาณแอมโมเนียพบว่าในกองกากจี้เป้งมีปริมาณไม่แน่นอน อาจเกิดจากปฏิกิริยาแอสซิมิเลชัน (Assimilation) ซึ่งเกิดจากการที่ฝนชะล้างไนโตรเจนกลายเป็นแอมโมเนียมและไนเตรต ไทลอสต์ กองกากจี้เป้ง และพบว่าไนโตรเจนในรูปไนเตรตมีปริมาณสูงกว่าและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นนั้น อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาแอสซิมิเลชันและปฏิกิริยานิไตรฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งเปลี่ยนแอมโมเนียให้อยู่ในรูปไนเตรต (รูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารและอินทรีซสารในกากขี้เป้งที่กองทิ้งในโรงงาน



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ในกองกากชี้เป้งที่กองทิ้งในโรงงาน



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทในสารสกัดกากชี้เป้งที่กองทิ้งในโรงงาน

- การเปลี่ยนแปลงในดินรอบกองกากชี้เป้ง

จากการตรวจวัดปริมาณธาตุอาหารและสารบางชนิดในดินรอบกองกากชี้เป้ง โดยทำการสุ่มดินรอบกองกากชี้เป้งที่รัศมี 1 เมตรและ 3 เมตร มาทำการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุอาหารและสารดังกล่าว พบว่า ปริมาณของธาตุอาหาร แร่ธาตุและแอมโมเนียในดินรอบกองแสดงให้เห็นว่าการชะละลายจากกองกากชี้เป้งเล็กน้อย โดยพบปริมาณของสารเหล่านี้ในรัศมี 1 เมตร มีความเข้มข้นสูงกว่าที่รัศมี 3 เมตร ส่วนค่าความเป็นกรดต่าง พบว่าไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารปนเปื้อนในดินรอบกองกากชี้แป้ง

พารามิเตอร์	รัศมี (เมตร)	วัน									
		0	7	14	21	28	35	42	49	56	
Total N	% w/w	1	0.34	0.11	0.2	0.08	0.09	0.04	0.36	0.23	0.36
		3	0.24	0.08	0.39	0.04	0.04	0.03	0.28	0.13	0.17
Total P	% w/w	1	0.68	0.11	2.20	0.49	0.19	0.38	0.24	0.39	0.3
		3	0.58	0.08	3.09	0.98	0.52	0.47	0.29	0.24	0.18
Total K	% w/w	1	114.661	0.08	0.29	0.03	0.05	0.04	0.02	0.02	0.03
		3	52.584	0.04	0.19	0.03	0.02	0.04	41.429	174.026	140.505
NH ₃ ⁺	mg/kg	1	407.665	95.323	28.810	450.14	451.327	103.064	367.133	391.764	366.142
		3	129.437	27.916	23.472	306.859	117.852	98.558	124.845	142.993	118.496
Mg	mg/L	1	20.33	363.4	110.4	134.1	79.89	127.9	76.96	58.44	162.2
		3	24.54	124.0	104.7	131.9	114.9	135.4	39.15	93.65	87.01
Ca	mg/L	1	6.579	22.65	15.44	15.71	8.584	10.27	7.971	5.814	19.25
		3	9.059	25.47	14.53	14.26	11.64	14.04	4.462	11.05	23.96

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารปนเปื้อนในดินรอบกองกากชี้แป้ง (ต่อ)

พารามิเตอร์	รัศมี (เมตร)	วัน									
		0	7	14	21	28	35	42	49	56	
Zn	mg/L	1	0.026	26.12	0.848	0.376	1.221	1.529	3.206	2.355	10.42
		3	0.181	11.77	0.722	0.653	0.46	0.802	2.174	3.739	3.878
pH		1	8.59	7.26	7.62	7.54	7.91	7.34	7.55	7.48	7.23
		3	7.5	7.49	7.46	7.58	7.59	7.42	7.43	7.46	7.47

4.4 การชะละลายของธาตุอาหารและแร่ธาตุบางชนิดจากกากขี้เป้งที่ผ่านการแยกเนื้ออย่าง

ในแผนงานวิจัยนี้ ได้มีการศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้ในการแยกเนื้ออย่าง 2 กระบวนการ คือ กระบวนการทางเคมี (โครงการย่อยที่ 1) และกระบวนการทางกายภาพ (โครงการย่อยที่ 2) ดังนั้น ในโครงการวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของกากขี้เป้งหลังการแยกเนื้ออย่าง ด้วยกระบวนการต่างๆดังกล่าวข้างต้น ผลการศึกษา เป็นดังนี้

4.4.1 ลักษณะสมบัติของกากขี้เป้งหลังการแยกเนื้ออย่างด้วยกระบวนการทางเคมี

กากขี้เป้งเมื่อผ่านกระบวนการแยกเนื้ออย่างด้วยวิธีทางเคมี พบว่ามีลักษณะกลายเป็นของเหลวสีน้ำตาล มีสารแขวนลอย ผลการวิเคราะห์ของเหลวที่เหลือจากการแยกเนื้ออย่าง ในส่วนของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง แสดงดังตารางที่ 4.4 (การตรวจวัดแสดงผลในรูป มก./ล. เนื่องจากมีลักษณะเป็นของเหลว) พบว่าของเหลวดังกล่าวยังมีธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบ แต่ธาตุอาหารหลัก เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส มีปริมาณน้อยกว่าในกากขี้เป้งสดมาก อาจเนื่องจากองค์ประกอบพวกไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในเนื้ออย่างซึ่งถูกแยกออกจากสารละลาย ส่วนฟอสฟอรัสทำปฏิกิริยาระหว่างกระบวนการทางเคมี ตกตะกอนออกมาในรูปตะกอนฟอสเฟต (ดังผลการทดลองในโครงการย่อยที่ 1) จึงมีปริมาณลดลง ส่วนธาตุอาหารรองมีปริมาณเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากธาตุดังกล่าวเป็นองค์ประกอบอยู่ในสารเคมีที่เติมลงไป ในระหว่างกระบวนการแยกเนื้ออย่าง โดยการย่อยสลายด้วยกรด ดังนั้นในสารละลายหลังการแยกเนื้ออย่างจึงมีปริมาณเพิ่มขึ้น

ส่วนค่าความสกปรกซึ่งตรวจวัดในรูปของ BOD₅ และ COD พบว่า สารละลายดังกล่าวมีความสกปรกสูง จึงต้องทำการบำบัดต่อไป ทั้งนี้ปริมาณความสกปรกในผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน จึงต้องมีการศึกษาประเมินความเป็นไปได้เชิงเทคนิคอย่างละเอียดต่อไป

ตารางที่ 4.4 ลักษณะสมบัติของของเหลวที่เหลือจากกระบวนการแยกเนื้ออย่างจากกากขี้เป้งทางเคมี

พารามิเตอร์	ปริมาณในกากขี้เป้งสด (mg/L)	ปริมาณในกากขี้เป้งหลังแยกเนื้ออย่าง (mg/L)
Total N	358	127
Total P	804	13.05
Total K	111.63	92.15
Mg	10.26	107.00
Ca	8.471	29.93
Zn	0.245	114.3
BOD ₅	-	3,360
COD	-	12,115

4.4.2 ลักษณะสมบัติของกากซีเป็งหลังการแยกเนื้ออย่างด้วยกระบวนการทางกายภาพ

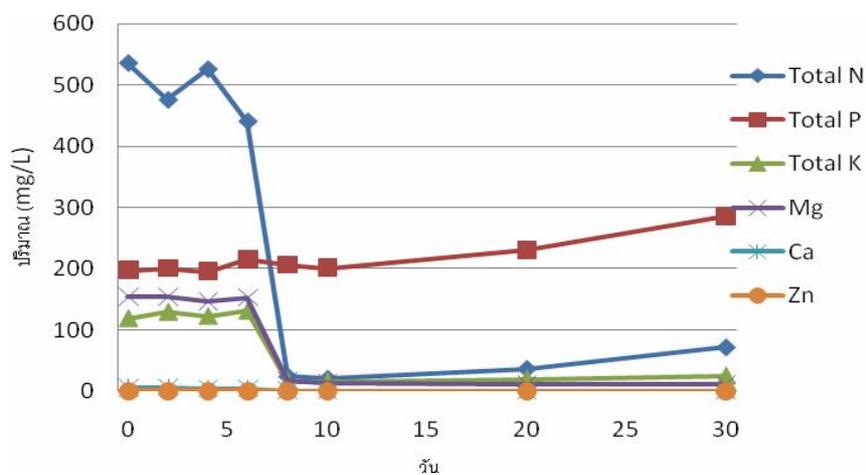
ลักษณะสมบัติของกากซีเป็งหลังการแยกเนื้ออย่างด้วยกระบวนการทางกายภาพคือการอบแห้งและการร่อน พบว่ามีลักษณะสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.5 ทั้งนี้ปริมาณไนโตรเจนที่ลดลงเนื่องจากการสูญเสียไปกับเนื้อย่างที่ร่อนแยกได้ ส่วนธาตุอาหารอื่น ๆ มีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อย จึงเป็นที่น่าสนใจสำหรับการใช้วัสดุที่ผ่านการร่อนแยกเพื่อการเกษตร

ตารางที่ 4.5 ลักษณะสมบัติของของแข็งที่เหลือจากกระบวนการแยกเนื้ออย่างจากกากซีเป็งทางกายภาพ

พารามิเตอร์	หน่วย	ปริมาณในกากซีเป็งสด	ปริมาณในกากซีเป็งหลังแยกเนื้ออย่าง
Total N	%w/w	1.79	0.67
Total P	%w/w	4.02	3.38
Total K	%w/w	1.13	1.16
Mg	mg/L	107.00	90.63
Ca	mg/L	17.83	17.55
Zn	mg/L	2.94	1.76

4.4.3 การทดสอบชะละลายของธาตุอาหารและแร่ธาตุบางชนิดจากกากซีเป็งที่แยกเนื้ออย่างออกด้วยวิธีอบแห้งและร่อนแยกเนื้ออย่าง

สำหรับกากซีเป็งที่ผ่านการแยกเนื้ออย่างด้วยวิธีทางกายภาพ คือ อบแห้งและร่อนแยกเนื้ออย่าง พบว่ามีลักษณะเป็นของแข็ง ร่วนคล้ายผงแป้งหยาบ เมื่อนำมาสกัดด้วยน้ำกลั่นเป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่าปริมาณของธาตุอาหารที่ถูกชะละลายออกมามีแนวโน้มเป็นดังรูปที่ 4.5



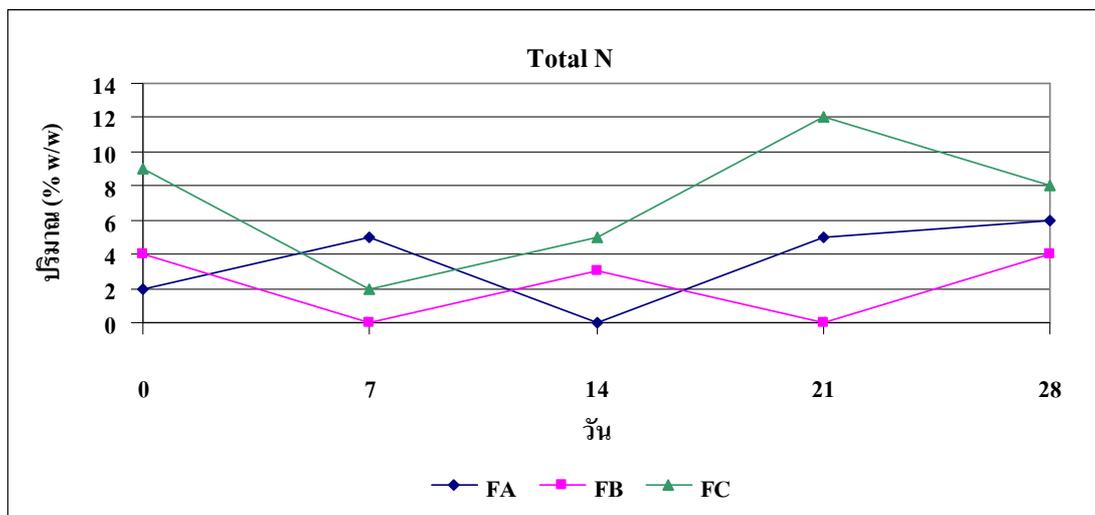
รูปที่ 4.5 ปริมาณของธาตุอาหารที่ถูกชะออกมาจากกากซีเป็งที่ผ่านการแยกเนื้ออย่างด้วยวิธีทางกายภาพ

4.5 การชะละลายของธาตุอาหารและแร่ธาตุบางชนิดจากผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมกากขี้เป้งและกากขี้เป้งที่ผ่านการแยกเนื้ออย่าง

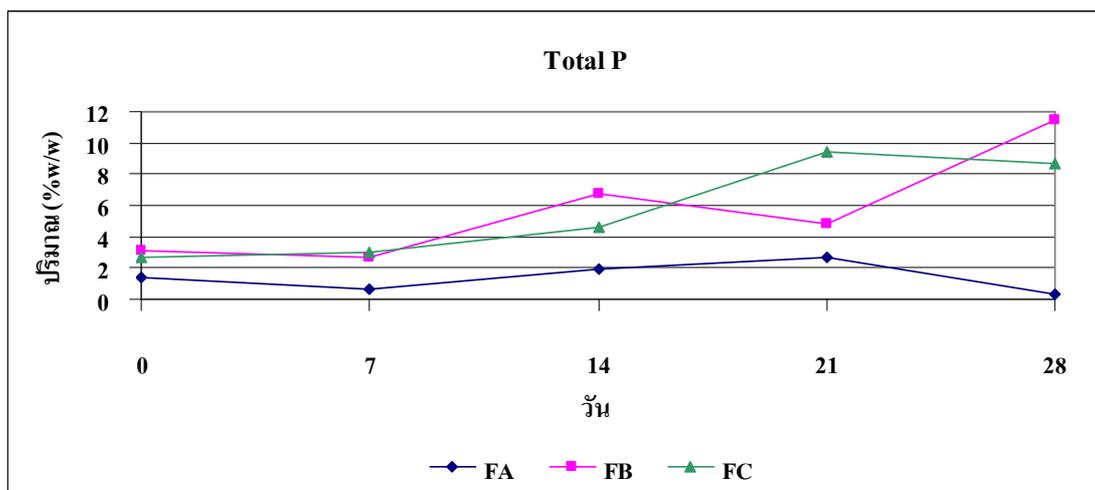
4.5.1 การชะละลายของธาตุอาหารและแร่ธาตุบางชนิดในกระถางดินเผาผสมกากขี้เป้ง

กระถางดินเผาที่ใช้ในการทดลองนี้แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ กระถางดินเหนียว (FA) กระถางดินเหนียวผสมกากขี้เป้งไม่ผ่านการร่อน (FB) และกระถางดินเหนียวผสมกากขี้เป้งร่อนแล้ว (FC) โดยนำกระถางมาหุบให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ซึ่งน้ำหนักเท่ากันทั้งสามชุดการทดลอง และนำมาสกัดด้วยน้ำกลั่น ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในน้ำชะดังกล่าว ทุกๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 28 วัน ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.6-4.11

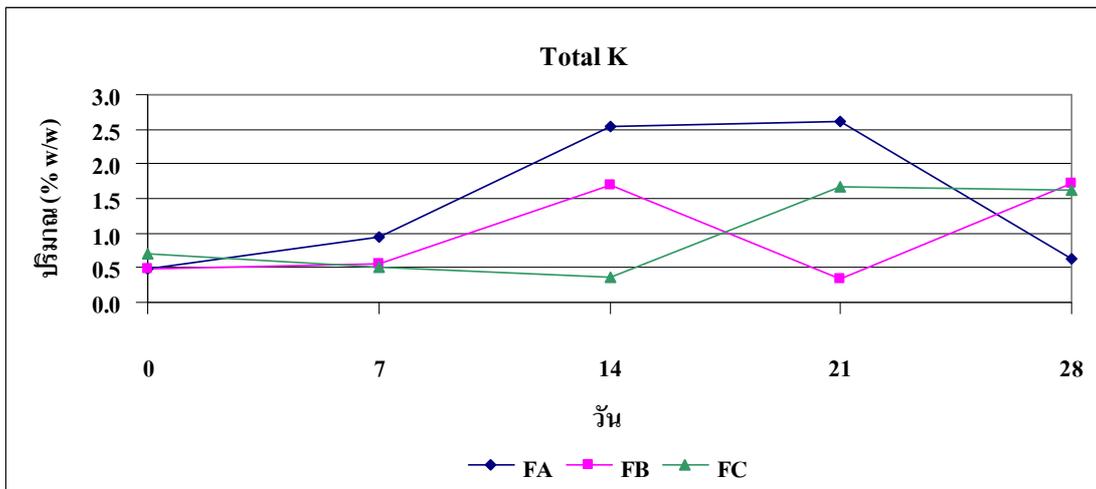
- ปริมาณธาตุอาหารหลักในกระถางดินเผาจากกากขี้เป้ง



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Total N ในน้ำชะกระถางดินเผา 3 ชนิด (FA, FB, FC) เป็นระยะเวลา 28 วัน

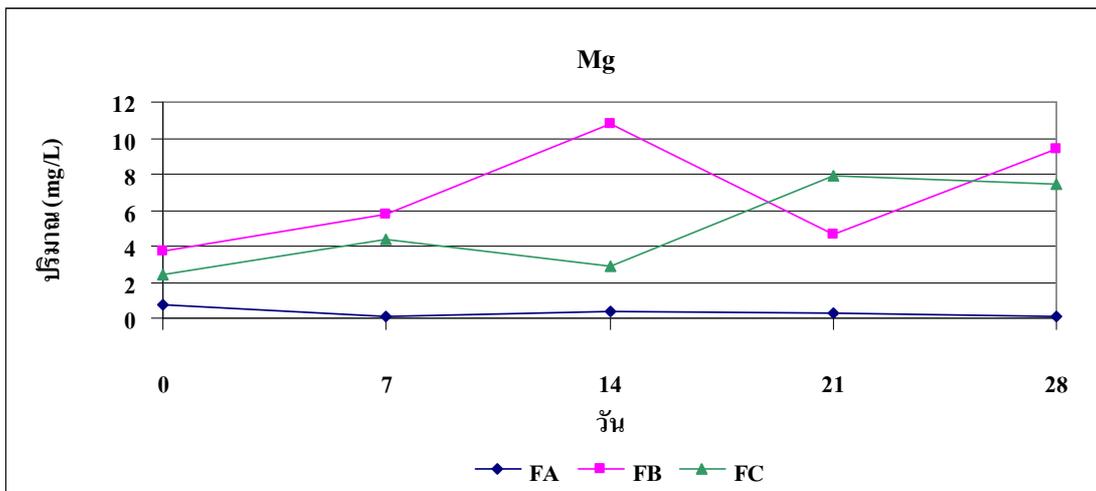


รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Total P ในน้ำชะกระถางดินเผา 3 ชนิด (FA, FB ,FC) เป็นระยะเวลา 28 วัน

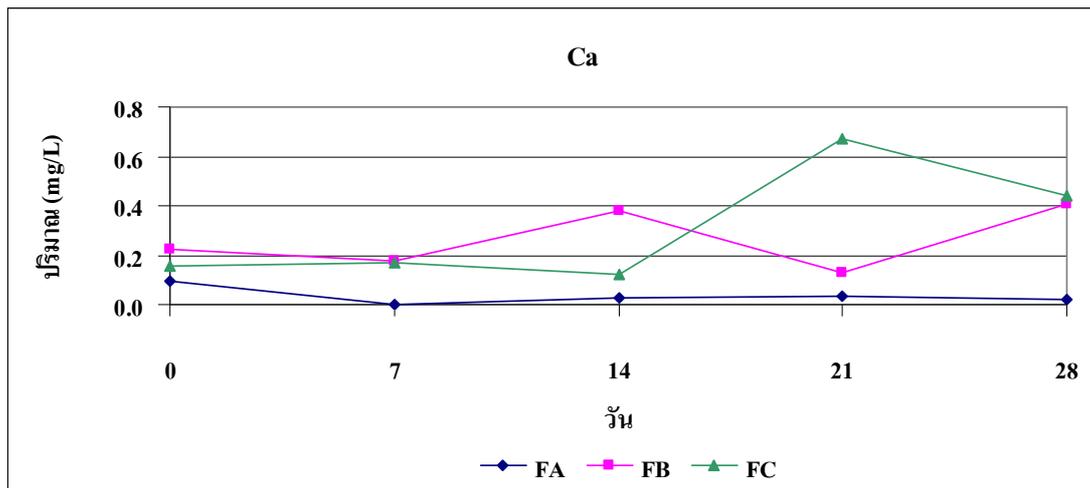


รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Total K ในน้ำชะกระถางดินเผา 3 ชนิด (FA, FB, FC) เป็นระยะเวลา 28 วัน

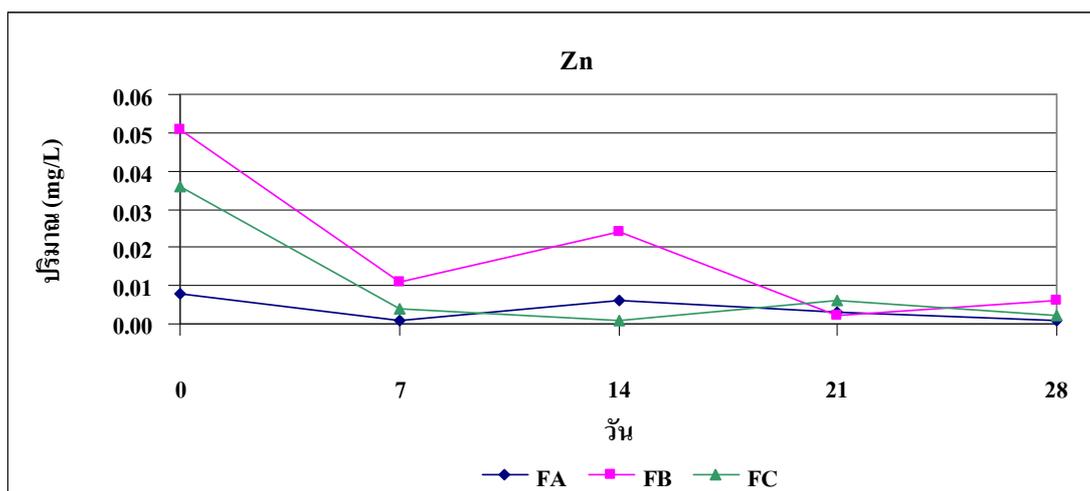
- ปริมาณธาตุอาหารรองในกระถางดินเผาจากกากขี้เถ้า



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Mg ในน้ำชะกระถางดินเผา 3 ชนิด (FA, FB, FC) เป็นระยะเวลา 28 วัน



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Ca ในน้ำชะกระถางดินเผา 3 ชนิด (FA, FB, FC) เป็นระยะเวลา 28 วัน



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Zn ในน้ำชะกระถางดินเผา 3 ชนิด (FA, FB, FC) เป็นระยะเวลา 28 วัน

จากรูปที่ 4.6-4.11 จะเห็นได้ว่าปริมาณของธาตุอาหารที่ถูกชะออกมาจากเนื้อวัสดุกระถางที่มีส่วนผสมของกากขี้เถ้ามีปริมาณสูงกว่ากระถางดินเหนียวทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในกากขี้เถ้าที่ผสมทำให้มีปริมาณที่ถูกชะออกมาสูงกว่า ยกเว้นโพแทสเซียมซึ่งพบว่ามีน้ำชะจากกระถางดินเหนียวที่ไม่ผสมกากขี้เถ้ามีสัดส่วน โดยน้ำหนักมากกว่า เนื่องจากการเติมกากขี้เถ้าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนธาตุอาหารอื่นๆ

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

กากจีแป็งเป็นของเสียที่มีองค์ประกอบที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น เนื้อยาง และธาตุอาหาร องค์ประกอบส่วนที่เป็นโลหะหนักมีอยู่ในปริมาณน้อยมากและมีค่าไม่เกินมาตรฐาน ดังนั้นของเสียชนิดนี้จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้แทนการกองทิ้งบนดิน ซึ่งจะทำให้เกิดการชะละลายธาตุอาหารสู่สิ่งแวดล้อม การแยกเนื้อยางออก ไม่ทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงมากนัก การแยกเนื้อยางออกจากกากจีแป็งโดยการย่อยด้วยกรด สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ที่มีคุณภาพดี ส่วนที่เหลือเป็นน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์สูง ซึ่งต้องทำการบำบัดต่อ หากนำมาตกตะกอนต่อ สามารถแยกตะกอนซัลเฟตและฟอสเฟต ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ส่วนการแยกด้วยวิธีการอบแห้งและร่อนแยก สามารถแยกเนื้อยางได้ประมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก การนำกากจีแป็งสด หรือ กากจีแป็งหลังการร่อนแยกเนื้อยางมาใช้เป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปเป็นวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ กระจางและอิฐปลูกกล้วยไม้ สามารถเป็นทางเลือกที่ดีในการนำของเสียชนิดนี้กลับมาใช้ประโยชน์นอกเหนือจากการผลิตเป็นปุ๋ย โดยธาตุอาหารในเนื้อกากจีแป็งสามารถถูกชะละลายออกมาสู่วัสดุปลูกและต้นไม้สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีโดยไม่ต้องเติมปุ๋ยเพิ่มเติม

ข้อเสนอแนะ

- ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับลักษณะสมบัติกากจีแป็งจากหลายโรงงานเพื่อพิจารณาความสม่ำเสมอขององค์ประกอบที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์
- ควรทำการประเมินความเป็นไปได้ทั้งในเชิงเศรษฐศาสตร์ เทคนิค และสิ่งแวดล้อม โดยละเอียดในการนำกากจีแป็งกลับมาใช้ใหม่ในทุกกรณี

6. บรรณานุกรม

วราศรี เถกประสิทธิ์. 2542. การนำกากจีบ่ียงจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำ
เป็นวัสดุบำรุงดิน. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เสาวนีย์ ก่ออุฒิกุลรังสี 2543 “ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ” ภาควิชายางและเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

เสาวนีย์ ก่ออุฒิกุลรังสี และคณะ 2547 “การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเตรียมปุ๋ยเหลวจากกากจีบ่ียง
น้ำยางข้น” ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต
ปัตตานีวิทยาเขตปัตตานี

APHA, AWWA and WEF, 1998. Standard Method for The Examination of Water and
Wastewater, 20th edition. Maryland: American Public Health Association

Arimoro, F.O., Impact of Rubber Effluent Discharges on the Water Quality and
Macroinvertebrate Community Assemblages in a Forest Stream in the Niger Delta,
Chemosphere, 77(3), 440-449, 2009.

Blackley, D.C. 1997. Polymer Latices. vol. 2, Types of Latices, Chapman & Hall, London

สรุปแผนงานวิจัย

กากชี้แป็งเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นที่มีปัญหาในการจัดการ แต่เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบที่มีในของเสียชนิดนี้ พบว่ามีความน่าสนใจที่จะศึกษากระบวนการนำกลับมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะเนื้อยาง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการนำกลับมาใช้จากกากชี้แป็งโดยกระบวนการทางเคมีและกายภาพ และศึกษาผลกระทบของกระบวนการดังกล่าว ในรูปของการชะละลายของธาตุต่างๆจากกากชี้แป็งก่อนและหลังกระบวนการแยกเนื้อยาง รวมทั้งการนำกากชี้แป็งไปผลิตเป็นวัสดุปลูกเพื่อการเกษตร ผลการวิจัยพบว่าการเติมเกลือร่วมกับพอลิเมอร์ และกรดฟอร์มิก สามารถนำกลับมาใช้จากกากชี้แป็งได้ดี ยางที่นำกลับมาได้มีความบริสุทธิ์เทียบเท่ากับ STR 20 ของเสียที่เหลือจากกระบวนการนี้คือน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง จำเป็นต้องบำบัดต่อไป ต้นทุนของกระบวนการทางเคมีโดยการประมาณการต้นทุนสารเคมี มีราคาประมาณ 5,000 บาทต่อ ลบ.ม.ของกากชี้แป็ง หากกากชี้แป็งของโรงงานใดไม่คุ้มค่าต่อการนำกลับมาใช้วิธีทางเคมี สามารถใช้กระบวนการทำให้แห้งและร่อนแยกเนื้อยางบางส่วนออก จะทำให้กากชี้แป็งมียางปะปนน้อยลงซึ่งส่งผลดีเมื่อนำไปผลิตเป็นวัสดุปลูก คือวัสดุมีความหนาแน่นน้อย สามารถชะธาตุอาหารออกมาได้มาก ทำให้พืชที่ทดลองปลูกเจริญเติบโตได้ดีโดยไม่ต้องใส่ปุ๋ยเพิ่มในการศึกษานี้ไม่นำกากชี้แป็งไปผลิตเป็นปุ๋ยหรือวัสดุบำรุงดินโดยตรง เนื่องจากเนื้อยางที่ปะปนในกากชี้แป็งอาจส่งผลต่อโครงสร้างของดินได้ ส่วนการทดสอบการชะละลายพบว่ากากชี้แป็งทั้งก่อนและแยกเนื้อยาง รวมทั้งวัสดุปลูกที่ผลิตจากกากชี้แป็งเหล่านี้มีการชะละลายธาตุอาหารออกมาได้ดี ส่วนปริมาณโลหะหนักมีค่าต่ำมาก จึงอาจสรุปได้ในเบื้องต้นว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นทางเลือกแก่ผู้ประกอบการโรงงานน้ำยางชั้นเพื่อใช้ในการจัดการกากชี้แป็ง โดยได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่ากลับมา คือ เนื้อยาง โดยต้องศึกษาความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ และความแปรผันขององค์ประกอบในกากชี้แป็งของแต่ละโรงงานต่อไป หรือนำไปเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ซึ่งสามารถต่อยอดในเชิงพาณิชย์ผลิตเป็นสินค้าทางการเกษตร คือ กระจ่างดินไม่ปลดปล่อย

ประวัตินักวิจัย

คณะผู้วิจัย

ชื่อ	: นายวิรัช ทวีปรีดา : Wirach Taweepreda
ID No.	: 383-99-00-099-2-1-1
ตำแหน่ง	: อาจารย์
ที่อยู่ปัจจุบัน	: สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112 โทรศัพท์ (074) 288-367 โทรสาร (074) 446-925
E-mail	: wirach.t@psu.ac.th
ประวัติการศึกษา	
2538	: วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2544	: วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์) มหาวิทยาลัยมหิดล
2548	Doctor of Philosophy (Physical Chemistry) University of Bristol, UK.
สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ	(1) วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ (2) วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน (3) การประยุกต์ใช้งานน้ำยางและยางแห้ง (4) กระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีสะอาด

ประสบการณ์งานวิจัย

งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ	ชื่อโครงการ	ปี พ.ศ.	แหล่งทุน
โครงการหลัก	การพัฒนาเมมเบรนสำหรับพลังงานสิ่งแวดล้อม และการแยกอนุภาคนาโนชีวภาพ	2554-2556	โครงการวิจัยริเริ่มแบบมุ่งเป้า สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา
โครงการย่อยที่ 7	การผลิตเมมเบรนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงโดยประยุกต์ใช้พอลิเมอร์ชีวภาพ	2554-2555	ศูนย์เครือข่ายความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยีภาคใต้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
แผนงานวิจัย:	การผลิตและปรับปรุงผิวเมมเบรนเพื่อการแยกอนุภาคนาโนในของไหล	2554-2555	ศูนย์เครือข่ายความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยีภาคใต้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
โครงการย่อย:	การเตรียมเมมเบรนชนิดแผ่นและเส้นใยกลวงจากไคโตซานเพื่อการแยกก๊าซ CO ₂ /CH ₄	2553-2554	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
แผนงานวิจัย:	การทำปฏิกิริยกรัด L-(+)-แล็กติกจากน้ำหมัก	2553-2554	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
โครงการย่อย:	การพัฒนาเชื้อแผ่นเชิงประกอบจากยางธรรมชาติสำหรับการแยกเอทิลแอลกอฮอล์จากปฏิกิริยาเอสเทอร์รีฟิเคชันด้วยระบบเพอร์แวกซ์		
งานวิจัยที่สิ้นสุด	ชื่อโครงการ	ปี พ.ศ.	แหล่งทุน
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางพาราจากการจุ่มน้ำยาง – สูตรสูงมือยางต้นทูนต่ำ และยาง รัศมีแม่พิมพ์		2549	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
Preparation of Artificial Skin For Dissection From Natural Rubber		2550	กองทุนวิจัย คณะวิทยาศาสตร์
Molecular Modeling of Polymer Inclusion Complexes with Cyclodextrins		2550	กองทุนวิจัย คณะวิทยาศาสตร์
กลไกการเกิดฟิล์มของน้ำยางธรรมชาติและการเชื่อมขวางระหว่างวัฏภาค		2553	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา

<p>จลนศาสตร์ของการวัดคาน้ำในชั้นน้ำอย่างธรรมชาติ เพื่อพัฒนาสมบัติผลิตภัณฑ์จากการจุ่มแบบ</p>	2553	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งชาติ
<p>การเตรียมเส้นใยกลวงจากยางเพื่อการแยก อนุภาคระดับนาโน</p>	2553	ศูนย์เครือข่ายความเป็นเลิศด้านนาโนฯ ม.สงขลานครินทร์
<p>ชุดโครงการ: เทคโนโลยีเมมเบรนสำหรับการ เพิ่มมูลค่าและลดของเสียของการผลิตน้ำยางชั้น โครงการย่อยที่ 3: การเตรียมและศึกษา คุณลักษณะของเมมเบรนที่ผลิตจากน้ำยางพารา เพื่อทำเป็นเมมเบรนระดับไมโครและอัลตรา ฟิลเตรชั่น</p>	2553	งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2551
<p>การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิควัด การหักเหแสงเพื่อหาปริมาณเนื้อยางในน้ำยาง</p>	2553	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
<p>แผนงานวิจัย: เทคโนโลยีใหม่ในการเพิ่มมูลค่า กากของเสียที่แป้งจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำ ยางชั้น</p>	2554	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
<p>โครงการย่อย: เทคโนโลยีการแยกเนื้อยางออก จากของเสียกากจีแป้ง</p>		

ผลงานทางวิชาการ ย้อนหลัง 5 ปี (พ.ศ.2549-2554 หรือ ค.ศ.2007-2011)

ผลงานวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่ระดับนานาชาติ

1. Suknuntha, K.;Tantishaiyakul, V.; Worakul, N; Taweepreda, W., *Characterization of muco- and bioadhesive properties of chitosan, PVP, and chitosan/PVP blends and release of amoxicillin from alginate beads coated with chitosan/PVP*, DRUG DEVELOPMENT AND INDUSTRIAL PHARMACY 2011, 37(4), 408-418.
2. Masae, M.; Sikong, L.; Kooptarnong, K.; Taweepreda, W.; Saito, F., *Photoactivity and Hydrophilicity of B and Ni Co-Doped TiO₂ Films*, Advanced Materials Research 2011, 148-149, 1473-1479.
3. Wanichapichat, P.; Taweepreda, W.; Choomgan, P.; Yu, L.D., *Argon and Nitrogen Beams Influencing Membrane Permeate Fluxes and Microbial Growth*, Radiation Physics and Chemistry 2010, 79(3), 214-218.
4. Anancharungsuk, W.; Taweepreda, W.; Wirasate, S.; Thonggoom, R.; Tangboriboonrat, P., *Reduction of surface friction of natural rubber film coated with PMMA particle: Effect of particle size*. Journal of Applied Polymer Science 2010, 115(6), 3680-3686.
5. Taweepreda, W.; Nu-Mard, R.; Pattanasiriwisawa, W.; Songsiriritthigul, P., *Model compound vulcanization studied by XANES*. Journal of Physics: Conference Series 2009, 190, 012150.
6. Wanichapichart, P.; Sungkum, R.; Taweepreda, W.; Nisoa, M., *Characteristics of chitosan membranes modified by argon plasmas*. Surf. Coat. Technol. 2009, 203(17-18), 2531-2535.
7. Amornchaiyapitak, C.; Taweepreda, W.; Tangboriboonrat P., *Modification of epoxidised natural rubber film surface by polymerisation of methyl methacrylate*. Eur Polym. J., 2008, 44(6), 1782-1788.

ผลงานวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่ระดับชาติ

1. Banchapattanasakda, W.; Taweepreda, W.; Tachapattaworakul-Suksaroj, T; Suksaroj, C., *Shrinkage and Compressive Strength Behaviors of Clay Brick Blended with Concentrated Latex Industry's Waste Residue*, KKU Engineering J., 2009, 36(4), 284-292.
2. Taweepreda, W.; Sae-Tae, W., *Thermoplastic Natural Rubber Foam*, J. Association of Chemistry Teachers (Article), 2006, 2(1), 54-60.
3. Taweepreda, W., *A Study of Inclusion of Polymer with Cyclodextrins Using Synchrotron Radiation*, J. Association of Chemistry Teachers (Review), 2006, 1(1), 1-11.

สิทธิบัตร (ร่วม)

1. เลขที่คำขอ 1101000103 เรื่อง “สารเคลือบแม่พิมพ์ไทเทเนียมไดออกไซด์และกรรมวิธีเคลือบสารเคลือบนี้”
2. เลขที่คำขอ 1103000475 เรื่อง “กรรมวิธีการผลิตฟิล์มยางด้วยแม่พิมพ์ที่เคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับผลิตภัณฑ์ยางแบบจุ่ม”

งานประชุมวิชาการระดับชาติ

1. Taweepreda, W.; Suchiva, K.; Pattanasiriwisawa, W. 2011. *Monitoring Sulfur Contamination in Raw Natural Rubber Using S K-edge XANES Spectroscopy*, 6th Asia-Oceania Forum for Synchrotron Radiation Research (AOFSSRR2011) – “Bright light for better life”, 24th – 28th October, Bangkok, Thailand.
2. Phatcharasit, K.; Taweepreda, W. 2011. *Polyethylene Thin Film Coating Preventing the Degradation of Natural Rubber*, German-Thai Symposium on Nanoscience and Nanotechnology (GTSNN 2011) – “Green Nanotechnology for the Future”, 13th – 16th September, Nakhon Ratchasima, Thailand.
3. Taweepreda, W. 2011. *Film Formation of Inclusion Complexes Between Acetyl-beta-cyclodextrin and Chitosan*, Chiang Mai International Conference on Biomaterials & Applications (CMIBA 2011), 9th -10th August, Chiang Mai, Thailand.
4. Yuenyao, C.; Taweepreda, W.; Chittrakarn, T.; Tirawanichakul, Y.; Saeung, P. 2011. *The effect of Argon Plasma on the Surface Morphology of Polysulfone Membrane*, Siam Physics Congress (SPC2011) “Physics for all, all of physics”, 23-26 March, Chonburi, Thailand.
5. Taweepreda, W.; Phatcharasit, K.; Srikong, L. 2010. *Nanostructure and Properties of Cross-linked Natural Rubber Latex Compositated with TiO₂*, NanoThailand 2010 “Nanotechnology for a Sustainable World”, 18-20 November, Pathumthani, Thailand.
6. Taweepreda, W.; Nakkul, T.; Wanichapichart, P. 2010. *Rubber Membrane for Ethanol Purification*, The 2nd Asian Conference on Innovative Energy and Environmental Chemical Engineering, 12-14 October, Phuket, Thailand.
7. Taweepreda, W.; Phatcharasit, K. 2010. *Membrane for Gas Separation from Micro Composites of Natural Rubber with TiO₂*, Siam Physics Congress 2010: Physics for Creative Society, 25-27 March, Kanchanaburi, Thailand.

8. Phatcharasit, K.; Srikong, L.; Taweepreda, W. 2010. *Preparation and Characterization of Natural Rubber Latex Composite with TiO₂*, Joint Conferences between 12th International Seminar on Elastomers and 2nd Thailand-Japan Rubber Symposium, 8-11 March, Bangkok, Thailand.
9. Jindapaisan, S.; Taweepreda, W., Nu-Mard, R.; Suchiva, K. 2010. Correlation between Cross-linking Density and Properties of Vulcanized Low Molecular Weight Natural Rubber, Joint Conferences between 12th International Seminar on Elastomers and 2nd Thailand-Japan Rubber Symposium, 8-11 March, Bangkok, Thailand.
10. Taweepreda, W.; Sorsom, A. 2009. *Possibility Studies of Hydrocolloid Pressure-Sensitive Adhesive Preparation from Natural Rubber*, 2nd Polymer Graduate Conference of Thailand, 21-22 May, Bangkok, Thailand.
11. Issaro, C.; Taweepreda, W.; Tongurai, C.; Tachapattaworakul-Suksaroj, T.; Suksaroj, C. 2009. *A Study of Inclusion Complexes Formation between Glycerol and Cyclodextrins by X-Ray Diffraction*, The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May, Songkhla, Thailand.
12. Sawain, A.; Taweepreda, W.; Puetpaiboon, U.; Suksaroj, C. 2009. *The Effect of pH on the Stability of Grease and Oil in Wastewater from Biodiesel Production Process*, The 10th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering, 1-3 April, Suranaree University of Technology, Thailand.
13. Taweepreda, W.; Nu-Mard, R.; Songsiriritthigul, P. 2009. *New Methodology to Follow the Distribution of Cross-Links in Vulcanized Blends*, Siam Physics Congress 2009 (SPC2009): Physics for Dynamic Society, 19-21 March, Phetchburi, Thailand.
14. Taweepreda, W.; Nu-Mard, R.; Songsiriritthigul, P.; Nakason, C. 2009. *A Study of Sulfur Cross-linking in Natural and Synthetic Rubber*, The 12th National Graduate Research Conference, 12-13 February, Khon Kaen, Thailand.
15. Taweepreda, W.; Jindapaisan, S.; Suchiva, K. 2008. *The Inclusion Complexes of β -Cyclodextrin with Natural Rubber Molecules in Solid State*, 5th Thailand Materials Science and Technology Conference, 18-19 September, Bangkok, Thailand.
16. Rakkapao, N.; Vao-soongnern, V.; Wanichapichart, P.; Taweepreda, W. 2008. *EXAFS Spectra of Sulfur Crosslinked Chitosan Membranes*, 6th Regional Symposium on Membrane Science and Technology, 13-15 August, Phuket, Thailand.

17. Taweepreda, W., Jitboon, S., Loykulnant, S., Chaikumpollert, O., and Suchiva, K. 2007. *Study of Sodium Dodecyl Sulphate/Ammonia as Prolonged Preservative for Field Natural Rubber Latex*, 1st Thailand-Japan Rubber Symposium, 20-22 August, Chonburi, Thailand.
18. Taweepreda, W., Najkul, T., Wanichapichart, P., and Suchiva, K. 2007. *Chlorination of Natural Rubber Latex Membrane*, 1st Thailand-Japan Rubber Symposium, 20-22 August, Chonburi, Thailand.
19. Boontawee, H.; Taweepreda, W.; Pichaykorn, W.; Boonme, P. 2007. *Formulation Development of Transdermal Patches from Natural Rubber Latex*, 1st Thailand-Japan Rubber Symposium, 20-22 August, Chonburi, Thailand.
20. Taweepreda, W.; Dokkhan, C.; Loykulnant, S.; Kongkaew, C.; and Chaikumpollert, O. 2007. *Preparation and Properties of Dry Natural Rubber from Creamed Skim Latex*, 2nd International Conference on Advances in Petrochemicals and Polymers (ICAPP2007), 22-25 June, Bangkok, Thailand.

คณะผู้วิจัย

ชื่อ : นายชัยศรี สุขसारโจน์
: Chaisri SUKSAROJ
ID No. : 373-99-00-168-7-3-7
ตำแหน่ง : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ที่อยู่ปัจจุบัน : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
โทรศัพท์ (074) 287-116 โทรสาร (074) 459-396
E-mail : schaisri@eng.psu.ac.th, suksaroj@gmail.com

ประวัติการศึกษา

2538 : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2542 : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2549 : Dr.Ing. (Science and Biological Process and Industrial: Chemical
Engineering) Universite Montpellier II, France

ใบประกอบวิชาชีพ

: วิศวกรรมควบคุม ประเภทภาควิชากร
สาขาวิศวกรรมโยธา เลขที่ กย.18708
: วิศวกรรมควบคุม ประเภทสามัญวิศวกร
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เลขที่ สส.170

สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ

- (1) วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมด้านเทคโนโลยีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ เช่น กระบวนการตกตะกอนทางเคมี กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง และกระบวนการเมมเบรน เป็นต้น
- (2) การจำแนกลักษณะสารอินทรีย์ในน้ำที่มีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปาและการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปา
- (3) กระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีสะอาดและนวัตคาร์บอน

(4) การประเมินก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมูลฝอยและบ่อหมักไร้อากาศ

ประวัติการทำงาน

ก.ค. 2542 – ปัจจุบัน	:อาจารย์ (2542-2552) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (2552-ปัจจุบัน) สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
เม.ย.-พค.2542	:วิศวกรสิ่งแวดล้อม (Freelance) บริษัท เอ็น เอส คอนซัลแตนท์ จำกัด
2538-2539	:วิศวกรโยธา/แหล่งน้ำ บริษัท ชาราคอนซัลแตนท์ จำกัด

ประสบการณ์งานการวิจัย (5 ปีย้อนหลัง)

งานวิจัยที่เสร็จแล้ว

1. ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำล้างกับคุณภาพของเนื้อปลาเพื่อการผลิตซูริมิ ทุนวิจัยโครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด เครือข่ายมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีการศึกษา 2551 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) เสร็จสิ้นโครงการ
2. การบำบัดน้ำเสียที่มีสีจากกระบวนการพิมพ์กล่องกระดาษด้วยกระบวนการเฟนตันและเมมเบรนเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ทุนวิจัยโครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด เครือข่ายมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีการศึกษา 2551 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) เสร็จสิ้นโครงการ เป็นหัวหน้าโครงการ
3. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยจุลินทรีย์ EM และเฟนตัน ทุนงบประมาณแผ่นดินปี 2550 เป็นผู้ร่วมวิจัย
4. การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ทุนพัฒนานักวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตั้งแต่ มีนาคม 2551 ถึง มีนาคม 2552 เป็นหัวหน้าโครงการ
5. การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีการกายภาพ-เคมี ทุนวิจัยจากสกว MAG window I ปี 2551 ตั้งแต่ กรกฎาคม 2551 ถึง มิถุนายน 2552 เป็นหัวหน้าโครงการ
6. การประเมินก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบแบบเทกองเปิดและแบบสุขาภิบาล ทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2551-2552 เป็นหัวหน้าโครงการ
7. การเพิ่มมูลค่าของเสียฟิล์มยางที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตถุงมือยาง ทุนวิจัยโครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด เครือข่าย

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีการศึกษา 2552 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) เป็นหัวหน้าโครงการ

8. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประเมินคุณภาพน้ำผิวดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเพื่อนำมาควบคุมการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา ทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินปี 2551 ตั้งแต่ ตุลาคม 2551 ถึง ตุลาคม 2552 เป็นผู้ร่วมวิจัย

9. การลดกลุ่มสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปาโดยใช้กระบวนการเมมเบรน ทุนวิจัยจาก สกว MAG window II ปี 2552 เป็นหัวหน้าโครงการ

10. การบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติเพื่อลดการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา ทุนวิจัยจากคณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พฤศจิกายน 2552 ถึง พฤศจิกายน 2553 เป็นผู้ร่วม วิจัย

งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ

การลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการบวนการผลิตอาหารกุ้งโดยการ เพิ่มผลประสิทธิภาพการผลิตด้วยเทคโนโลยีสะอาด (P-10-10876) ทุนวิจัยโครงการปรับปรุง กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด เครื่องหมายมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีการศึกษา 2553 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) เป็นหัวหน้าโครงการ

การเพิ่มมูลค่ากากของเสียซีพีแปปด้วยการนำมาใช้เป็นวัสดุทำกระถางต้นไม้และอิฐปลูก กกล้วยไม้ ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ปีงบประมาณ 2553

ผลงานวิชาการ

บทความวิจัยและบทความวิชาการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

Cheerawit Rattanapan, Aneak Sawain, Thunwadee Suksaroj, Chaisri Suksaroj (2011). Enhanced efficiency of dissolved air flotation for biodiesel wastewater treatment by acidification and coagulation processes. *Desalination* (in press) doi:10.1016/j.desal.2011.07.018

Qiao-guang Xie, Wirach Taweepreda, Charongpun Musikavong and Chaisri Suksaroj (2011). Removal of organic impurities in waste glycerol from biodiesel production process through the acidification and coagulation processes. *Water Science and Technology* (in press).

Wathida Kananama, Thunwadee Tachapattaworakul Suksaroj, Chaisri Suksaroj (2011). Biochemical changes during oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches composting with decanter sludge and chicken manure. *Science Asia* 37 (1), 17-23, doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2011.37.017

Tassana Kueseng, Thunwadee Tachapattaworakul Suksaroj, Charongpun Musikavong² and Chaisri Suksaroj (2011). Enhanced Coagulation for Removal of Dissolved Organic Matter and Trihalomethane Formation Potential from Raw Water Supply in Sri-Trang Reservoir, Thailand *Water Practice & Technology*. Vol 6 No 1, IWA Publishing 2011 doi:10.2166/WPT.2011.002

ชนกฤต พรหมทอง ชันวดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์ และ ชัยศรี สุขสาโรจน์ (2553) กลไกและจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยากำจัดสีในน้ำที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยเฟนตันรีเอเจนต์ *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย* ปีที่ 24 ฉบับที่ 2 : หน้า 37-47

เอนก สวาอินทร์ วิรัช ทวีปรีดา อุดมผล พิษณุไพบูลย์ และ ชัยศรี สุขสาโรจน์ (2553) การทำลายเสถียรภาพและการลดอิมัลชันของน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยเกลืออะลูมิเนียม *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย* ปีที่ 24 ฉบับที่ 1 : หน้า 57-66

Warintorn Banchapattanasakda, Wirach Taweepreda, Tunwadee Tachapattaworakul Suksaroj and Chaisri Suksaroj (2009). Shrinkage and Compressive Strength Behaviors of Clay Brick Blended with Concentrated Latex Industry's Waste Residue. *KKU Engineering Journal* Volume 36 Number 4 October-December, 283-292.

Suksaroj C., Rattanamanee P., Musikavong C. and Wattanachira S. (2009). The Determination of Tryptophan and Humic and Fulvic Acid-Like Substances Reduction in RAW Water From U-TAPAO Basin Thailand with Alum Coagulation. *Water Practice & Technology*. Vol 4 No 2, IWA Publishing 2009 doi: 10.2166/WPT.2009.022.

Suksaroj C., Chaimongkol P., Wattanachira S., and Musikavong C. (2008). Characterization and Treatment of Natural Organic Matter from Raw Water Supply Reservoir in Thailand" *KKU Research Journal*. 13 (9), 1098-1106.

Musikavong C., Chaimongkol P., Suksaroj C. and Wattanachira S. (2008). Relationship between Trihalomethane Formation Potential and Surrogate Parameters for Dissolved Organic Matter in Reservoir Water and Treated Wastewater in Thailand" *KKU Research Journal*. 13 (9), 1089-1097.

Suksaroj C., Hérán M., Allègre C. and Persin F. (2005). Treatment of textile plant effluent by nanofiltration (NF) and/or reverse osmosis (RO) for water reuse. *Desalination*. **178**: 1-3: 333-341.

บทความวิชาการเสนอในที่ประชุมวิชาการ และที่มีการพิมพ์รวมเล่ม

จรงค์พันธ์ มุสิกะวงค์ และ ชัยศรี สุขสาโรจน์ “การแพร่กระจายก๊าซมีเทนจากอุตสาหกรรมปาล์ม
น้ำมัน: ศักยภาพการพัฒนาสู่กลไกการพัฒนาที่สะอาด” การประชุมทางวิศวกรรมศาสตร์ครั้งที่
ที่ 7 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 21-22 พฤษภาคม 2552 จ.สงขลา

ชัยศรี สุขสาโรจน์, 2550 “น้ำเสียจากโรงฟอกย้อม...เป็นไปได้หรือไม่ที่จะนำกลับมาใช้ใหม่”,
หนังสือวิชาการครบรอบ 40 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.
หาดใหญ่ จ.สงขลา

ชัยศรี สุขสาโรจน์, 2550 “กระบวนการเมมเบรนแบบนาโนฟิวเตรชันและรีเวอร์สออสโมซิส
สำหรับงานปรับปรุงคุณภาพน้ำ”, หนังสือวิชาการครบรอบ 40 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

บทความวิจัยเสนอในที่ประชุมวิชาการ และมีการพิมพ์รวมเล่ม

เมธิยา หมวดฉิม ชัยศรี สุขสาโรจน์ และ ธันวดี สุขสาโรจน์ “การผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมัก
ร่วมแบบกะของน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลที่บำบัดขั้นต้นแล้วกับกากตะกอนดีแคเนเตอร์
จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 10, 23-
25 มีนาคม 2554, ณ โรงแรมบีพี สมิหลา บีช แอนด์ รีสอร์ท จังหวัดสงขลา

Warintorn Banchapattanasakda, Charongpun Musikavong , Thunwadee Tachapattaworakul
Suksaroj, Suraphong Wattanachira and Chaisri Suksaroj, “Reduction of Dissolved Organic
Matter in Raw Water Supply Reservoir by Hybrid Ultrafiltration Process”. The Proceeding
of the 8th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, October 24-
26, 2010, Phuket, Thailand, 67-75.

Xie Qiao-guang, Chaisri Suksaroj, Wirach Taweepreda and Charongpun Musikavong,
“Pretreatment of waste glycerol from biodiesel process and investigation of following
treatment by polymer coagulation”. The Proceeding of the 8th Asian-Pacific Regional
Conference on Practical Environmental Technologies (APRC2010), Ubon Ratchathani
University, Ubonratchathani, Thailand, March 24-27, 2010.

วรินทร์ บัญชาพัฒนศักดิ์ จรงค์พันธ์ มุสิกะวงค์ ธันวดี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ และ
ชัยศรี สุขสาโรจน์ “การลดสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปาโดยใช้กระบวนการร่วม
โคแอกกูเลชันและเมมเบรน” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 9, 24-27
มีนาคม 2553, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

บุญฤทธิ์ การญูเมธี ธันวดี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ และ ชัยศรี สุขสาโรจน์ “แนวทางการจัดการ
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่ของโรงพยาบาลชุมชนขนาด 30-60 เตียง กรณีศึกษาจังหวัด

- กระบี่” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 9, 24-27 มีนาคม 2553, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี
- กรรณิการ์ คงวาริน ชัยศรี สุขสาโรจน์ ชันวดี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ และจรงค์พันธ์ มุสิกวงษ์ “การประเมินการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากบ่อหมักไร้อากาศแบบเปิดที่มีชั้นฝ้าไขปกคลุม” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 9, 24-27 มีนาคม 2553, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี
- กาญจณีย์ ศรีเมือง ชัยศรี สุขสาโรจน์ ชันวดี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ และ จรงค์พันธ์ มุสิกวงษ์ “การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพการโคแอกกูเลชัน: การวิเคราะห์โดยวิธี FTIR” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 9, 24-27 มีนาคม 2553, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี
- Sawain A., Taweepreda W., Puetpaiboon and Suksaroj C., “The effect of pH on the stability of Grease and Oil in wastewater from biodiesel production process”. The Proceeding of the 10th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering “International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind”, School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand; 1-3 April 2009.
- เอนก สวาทอินทร์ วิรัช ทวีปรีดา อุดมผล พิชนไพบูลย์ และ ชัยศรี สุขสาโรจน์ “การทำลายเสถียรภาพและการลดออกซิเจนในน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยเกลืออนินทรีย์” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 8, 25-27 มีนาคม 2552, มหาวิทยาลัยสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
- ทัศนาศาสตร์ ชัยศรี สุขสาโรจน์ ชันวดี เตชะภักทวรกุล สุรพงษ์ วัฒนะจิระ และจรงค์พันธ์ มุสิกวงษ์ “ผลของพีเอชต่อการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปาจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารประกอบอลูมิเนียม” เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 8, 25-27 มีนาคม 2552, มหาวิทยาลัยสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
- Xie Qiao-guang, Chaisri Suksaroj, Wirach Taweepreda and Charongpun Musikavong, “Removal of Oily Sludge in waste glycerol from biodiesel process by Coagulation”. The Proceeding of the 4th International Congress of Chemistry and Environment, Thailand, January 21-23, 2009.
- Sripanpong P., Suksaroj C., Tachapattaworakul T., Sakunrat J., and Musikavong C., “Treatment of Organic Matter Landfill Leachate by Bioextract Juice”. The Proceeding of the 6th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, October 29-31, 2008, Bandung, Indonesia, 343-349.

Thunwadee Tachapattaworakul Suksaroj and Chaisri Suksaroj, Reduction of Natural Organic Matters by Contact Flocculation Filtration Using Alum or Ferric Chloride as a Coagulant. The Proceeding of the 6th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, October 29-31, 2008, Bandung, Indonesia, 130-137.

Suksaroj C, Rattanamanee P, Musikavong C and Wattanachira S. “The Determination of Tryptophan and Humic and Fulvic acid-like substances Reduction in Raw Water from U-Tapao Basin THAILAND with Alum coagulation”. The proceeding of natural organic matter: from source to tap, 2-4 September 2008, Baht, UK.

Musikavong C, Rattanamanee P, Suksaroj C, and Wattanachira S. “Three-Dimensional Fluorescent Spectroscopy Analysis for Characterization the Origin of Dissolved Organic Matter in U-Tapao Canal, Songkla, Thailand”. The proceeding of natural organic matter: from source to tap, 2-4 September 2008, Baht, UK.

Suksaroj C, Chaimongkol P, Wattanachira S, Musikavong C. “Characterization and treatment of natural organic matter from raw water supply reservoir in Thailand”. The proceeding of 12th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management, 25-29 August 2008 Khon- Khan, Thailand.

Musikavong C, Chaimongkol P, Suksaroj C, Wattanachira S. “Relationships between trihalomethane formation potential and surrogate parameters for organic matter in reservoir water and treated wastewater in Thailand”. The proceeding of 12th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management, 25-29 August 2008 Khon- Khan, Thailand.

กมลนาวิน อินทนูจิตร พยอม รัตนมณี ชัยศรี สุขसारโจน์ สุรพงษ์ วัฒนะจิระ และ จรงค์พันธ์ มุสิกะวงค์ “การลดสารกลุ่มไทโรซีน เทปโตรฟานและฮิวมิกและฟลูวิกเอซิดใน น้ำดิบประปาจากคลองอุตตะเกาโดยโคแอกกูเลชั่นที่ใช้สารส้ม” เอกสารประชุมวิชาการ The first Conference on Water Resources Management and Technology: 71-77, 8-9 พฤษภาคม 2551, หาดใหญ่, สงขลา

นิวัฒน์ มุหมื่น กมลนาวิน อินทนูจิตร จรงค์พันธ์ มุสิกะวงค์ สุรพงษ์ วัฒนะจิระ และ ชัยศรี สุขसारโจน์ “การลดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยการกรองส้มฝัด” เอกสารประชุมวิชาการ The first Conference on Water Resources Management and Technology: 64-70, 8-9 พฤษภาคม 2551, หาดใหญ่, สงขลา

เยาวมาลย์ สุดาจันทร์ วิทยา โพธิ์เย็น ชัยศรี สุขसारโจน์ สุรพงษ์ วัฒนะจิระ และ จรงค์พันธ์ มุสิกะวงค์ “การจำแนกกลุ่มสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำด้วยการวิเคราะห์

โดยสเปคโตรฟลูออโรมิสทรีและการปรับปรุงคุณภาพน้ำจากอ่างเก็บน้ำ” เอกสารการประชุม
วิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 7, 12-14 มีนาคม 2551, กรุงเทพฯ

อาอี๊ยะ ละไบจิ ชันวดี เตชะภัททวรกุล และชัยศรี สุขสาโรจน์ “การปรับปรุงคุณภาพน้ำจากอ่างเก็บ
น้ำด้วยการกรองสัมผัสน้ำ” เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6 วันที่ 8-9
พฤษภาคม 2551 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา

ปิ่นรัตน์ สิริพันธ์พงศ์ จีร์รัตน์ สกุรัตน์ ชันวดี เตชะภัททวรกุล และชัยศรี สุขสาโรจน์
“ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยของ EM” เอกสารการประชุมวิชาการทาง
วิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6 วันที่ 8-9 พฤษภาคม 2551 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่
สงขลา

ชนกฤต พรหมทอง ญัฐพล เสนางคนิกกร กมลธรรม อ่ำสกุล ชันวดี เตชะภัททวรกุล และ
ชัยศรี สุขสาโรจน์ “การกำจัดสีของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยจุลินทรีย์” เอกสารการ
ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6 วันที่ 8-9 พฤษภาคม 2551
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา

Suksaroj C., and Persin F. “Décoloration et dégradation de solutions synthétiques contenant des
colorants organiques et d'autres molécules auxiliaires à la teinture par procédés d'oxydation
avancée.” The conference on 2^{ème} CONGRES Méditerranéen (WATMED 2), 14-17
November 2005, Marrakech, Morocco.

Suksaroj C., Héran M., Allègre C. and Persin F. “Traitement tertiaire des effluents de teinturerie
de l'industrie textile par procédé membranaire avec oxydation des concentras” The
conference on 10^{ème} CONGRES DE LA SOCIETE FRANÇAISE DE GENIE DES
PROCEDES (SFGP 2005), 20-22 September 2005, Toulouse France.

Suksaroj C., Héran M., Allègre C. and Persin F. “Treatment of multi-component solutions by
nanofiltration and/or reverse osmosis: Application to textile and dye wastewater treatment”
The IWA specialized conference on water environment-membrane technology 2004, 7-10
June 2004, Seoul, Korea.

ประสบการณ์งานวิชาชีพ (5 ปีย้อนหลัง)

งานบริการวิชาการ

- 2549-ปัจจุบัน เช่น งานทดสอบคุณภาพน้ำและน้ำเสีย, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- 2553 โครงการออกแบบระบบรวบรวมน้ำเสียบ่อผุด แม่น้ำ และหัวถนน อ. เกาะสมุย จังหวัด สุราษฎร์ธานี
- 2553 โครงการเฝ้าระวังมลพิษทางทะเลกลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอันดามัน
- 2553 โครงการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานเอส เจ เจ ซีฟู๊ดโปรดักส์ จำกัด จ.ปัตตานี
- 2553 โครงการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันเมล็ดชา โครงการพระราชดำริ จ.เชียงราย
- 2551 โครงการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานยางแท่ง วายทีอาร์ซี รับเบอร์ จำกัด จ.สุราษฎร์ธานี
- 2550 โครงการตรวจสอบลักษณะสมบัติและปริมาณน้ำเสียของเทศบาลเมือง บ้านพรุ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
- 2549 โครงการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานต้นแบบผลิตไบโอดีเซล ขนาด 10,000 ลิตรต่อวัน, องค์การบริหารส่วนจังหวัดสุราษฎร์ธานี จ.สุราษฎร์ธานี
- 2549 โครงการศึกษาการปรับปรุงระบบผลิตน้ำประปา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

การทำงานด้านเทคโนโลยีสะอาด

1. อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ การปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด ผ่านการฝึกงานภาคฤดูร้อน ปี 2550-2554 และ โครงการต่อเนื่องโครงการงานนักศึกษาปริญญาตรี ปี 2550 - 2553
2. อาจารย์ที่ปรึกษาโรงงานในโครงการ GP และ Carbon footprint ของสถาบันอาหารปี 2551-2554

คณะผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล : นาง ชันวดี เตชะภัททวารกุล สุขสาโรจน์
: Mrs. Thunwadee tachapattaworakul Suksaraj
ID No. : 3-8205-00-220-64-3
ตำแหน่งปัจจุบัน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
หน่วยงาน : คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
: ตู้ ปณ. 50 คอหงส์ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112
โทร. 074-286844 โทรสาร 074-429758 e-mail: thunwadee.t@psu.ac.th
ประวัติการศึกษา: 2549 Dr.Sc. (Food Science) Université Montpellier II สาธารณรัฐ
ฝรั่งเศส
2544 วท.ม. (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยมหิดล
2541 วท.บ. (สาขารณสุขศาสตร์) สาขาวิชา วิทยาศาสตร์อนามัย
สิ่งแวดล้อม
เกียรตินิยมอันดับสอง มหาวิทยาลัยมหิดล
สาขาวิชาการชำนาญ: เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม/ เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อสิ่งแวดล้อม/อนามัย
สิ่งแวดล้อม/นิเวศวิทยาอุตสาหกรรม

ประสบการณ์งานวิจัย (5 ปีย้อนหลัง):

โครงการวิจัย : งานวิจัยที่ดำเนินการเสร็จแล้ว

<u>หัวข้อวิจัย</u>	<u>แหล่งทุน</u>	<u>ความรับผิดชอบ</u>
ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำ ล้างกับคุณภาพของเนื้อปลาเพื่อ การผลิตซูริมิ	ทุนอุดหนุนงานวิจัยและพัฒนาด้าน เทคโนโลยีสะอาด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ ประจำปี 2550	หัวหน้าโครงการ
การบำบัดน้ำเสียที่มีสีจาก กระบวนการพิมพ์กล่อง	ทุนอุดหนุนงานวิจัยและพัฒนาด้าน เทคโนโลยีสะอาด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ ประจำปี 2551	ผู้ร่วมโครงการ
กระดาษด้วยกระบวนการเพน ตันและเมมเบรนเพื่อนำน้ำ กลับมาใช้ใหม่	ทุนรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์-ทุน พัฒนานักวิจัยใหม่ ประจำปี 2551	หัวหน้าโครงการ
ความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอล จากน้ำอัดลมหมดอายุด้วย ยีสต์และแบคทีเรีย		

<u>หัวข้อวิจัย</u>	<u>แหล่งทุน</u>	<u>ความรับผิดชอบ</u>
การปรับปรุงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำอัดลมหมกอายุด้วยจุลินทรีย์	ทุน สกว.- อุตสาหกรรม (MAG Window I) ประจำปี 2551	หัวหน้าโครงการ
การประเมินการแพร่ระบาดของมีเทนจากหลุมฝังกลบแบบสุขาภิบาล	ทุนรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์-ทุนทั่วไป ประจำปี 2551	ผู้ร่วมโครงการ
งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ		
<u>หัวข้อวิจัย</u>	<u>แหล่งทุน</u>	<u>ความรับผิดชอบ</u>
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประเมินคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เพื่อนำมาควบคุมการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา	ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2552	ผู้ร่วมโครงการ
พลวัตระบบของออกซิเจนละลายในคลองอู่ตะเภา	ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2552	หัวหน้าโครงการ
การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบด้วยเทคโนโลยีสะอาด	ทุน สกว.- อุตสาหกรรม (MAG Window I) ประจำปี 2553	หัวหน้าโครงการ
การเสริมศักยภาพกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นสำหรับผลิตภัณฑ์ถุงมือยางด้วยประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ	ทุน สกว. ฝ่ายอุตสาหกรรม	ผู้ร่วมโครงการ
การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารก่อมะเร็งในสระว่ายน้ำ	ทุน สกว.	หัวหน้าโครงการ

<u>หัวข้อวิจัย</u>	<u>แหล่งทุน</u>	<u>ความรับผิดชอบ</u>
สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียชุมชน โดยหมักร่วมกับเศษอาหาร	ทุน สกว.	ผู้ร่วมโครงการ
การประเมินความเสี่ยงทาง สุขภาพจากการได้รับสัมผัส ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ พนักงานในโรงงานน้ำยางชั้น สนับสนุนจาก	ทุน มูลนิธิโรคหืดแห่งประเทศไทย	ผู้ร่วมโครงการ
เทคโนโลยีใหม่ในการเพิ่ม มูลค่ากากของเสียซึ่งเป็้จาก อุตสาหกรรมน้ำยางชั้น	ทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	ผู้อำนวยการ โครงการชุด

ผลงานทางวิชาการ :

- ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

- Kueseng T., Tachapattaworakul Suksaroj T., Musikavong C. and Suksaroj C. (2011) Enhanced coagulation for removal of dissolved organic matter and trihalomethane formation potential from raw water supply in Sri-trang reservoir, Thailand. *Water practice and Technology*, 6(1) online: doi:10.2166/WPT.2011.002.
- Kananam W., Tachapattaworakul Suksaroj T., Suksaroj C. (2011) Biochemical changes during oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches composting with decanter sludge and chicken manure. *Scienceasia* 37:17-23.
- Saeng, C., Cheirsilp, B., Tachapattawearakul, T. and Bourtoom, T.(2011) Efficient concomitant production of lipids and carotenoids by oleaginous red yeast *Rhodotorula glutinis* cultured in palm oil mill effluent and application of lipids for biodiesel production, *Biotech. Bioprocess Eng.*, 16(1):23-33
- Saeng, C., Cheirsilp, B., Tachapattawearakul, T. and Bourtoom, T.(2011) Potential use of oleaginous yeast *Rhodotorula glutinis* for the bioconversion of crude glycerol from biodiesel plant to lipids and carotenoids. *Process Biochemistry*, 46(1):210-218

- T. Tachapattaworakul, A. Fontana-Tachon, J.P. Guiraud, and R. Ratomahenina. (2008) Application of benomyl resistance and RAPD-PCR for detecting a *Trichoderma atroviride* strain used as biocontrol agent. *Biological Agricultural & Horticulture*, 25(4):367-377.
- มารีนี โด ซีระวิทช์ รัตนพันธ์ และธันวดี สุขสาโรจน์ (2554) ความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับ สัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ. *วารสารสาธารณสุขและการพัฒนา*, 9(2): 209-222.
- ชนกฤต พรหมทอง ธันวดี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ และชัยศรี สุขสาโรจน์ (2553) กลไกและจน พลศาสตร์ของปฏิกิริยากำจัดสีในน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยเฟินต้นริเอเจนต์. *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, 24(2):37-47.
- วรินทร์ บัญชาพัฒนศักดิ์ วิรัช ทวีปรีดา ธันวดี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ และชัยศรี สุขสาโรจน์ (2552) พฤติกรรมการหดตัวและกำลังรับแรงอัดของอิฐดินเหนียวเมื่อผสมกากขี้แป้ง. *วิศวกรรมสาร มข*, 36(4) ซ 283-292.
- รุสนี โตะกิล ธันวดี เตชะภักทวรกุล สุขสาโรจน์ และ เบญจมาศ เชียร์ศิลป์ (2552) ความคงตัวของเอนไซม์เซลลูเลสจากจุลินทรีย์สารเร่ง พด.1 เพื่อการประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 37(4): 407-416.
- อรกัญญา เม่งหุ บรรอง วิทยวีรศักดิ์ และ ธันวดี เตชะภักทวรกุล (2551). ปริมาณไนเตรดและไน ไทรต์ในสาหร่ายเขากวาง (*Caulerpa racemosa* var. *corynephora*) ที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจาก การเลี้ยงกุ้งทะเล เปรียบเทียบกับที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ยเคมี. *วารสารการประมง*, 60(1): 43-50.

- การนำเสนอผลงานทางวิชาการในที่ประชุมวิชาการและมีการพิมพ์เป็นรูปเล่ม (oral presentation/proceeding)

- Tachapattaworakul Suksaroj T. (2009). Bioethanol production from agro-industrial wastewater. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.
- Kueseng T., Tachapattaworakul Suksaroj T., Musikavong J. and Suksaroj C. (2009). Efficiency of PACl Coagulation Combined with Cationic Polymer and Powder Activated Carbon for Dissolved Organic Matter Removal in Raw Water Supply. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.
- Issaro C., Taweepreeda W., Tonguri C. Tachapattaworakul Suksaroj T. and Suksaroj C. (2009). A Study of Inclusion Complexes Formation between Glycerol and Cyclodextrins by X-Ray Diffraction. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.
- Hemmanee B., Tachapattaworakul Suksaroj T. and Boonsawang P. (2009). Pretreatment of Palm Oil Mill Wastewater for Ethanol Production. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.

- Tongsri F., Tachapattaworakul Suksaroj T. and Kantachote D. (2009). Ethanol Production from Expired Carbonated Soft Drink by *Zymomonas mobilis*. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.
- Ma-ae A., Tachapattaworakul Suksaroj T., Suksaroj C. and Musikavong J. (2009) Evaluation of Methane Emission from Sanitary Landfill: A Case Study of Hat Yai, Songkhla province. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.
- Inthanuchit K., Suksaroj S., Tachapattaworakul T. and Musikavong J. (2009). Reduction of Tryptophan and Humic and Fulvic-Like Substance from U-Tapao Canal by Enhanced Coagulation. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.
- Kongnoo A., Tachapattaworakul T., Musikavong C. and Suksaroj C. (2009). Tree-Dimension Spectroscopy Analysis for Characterizing Nature of Dissolved Organic Matter in Treated Wastewater from Para Rubber, Seafood and Palm Oil Industries. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.
- Boungdukjai T., Surasit S., Suksaroj C., Ua-kritdathikam P. and Tachapattaworakul Suksaroj T. (2009) System Dynamics Model of Water Quality in Klong U-Tapao. The 7th PSU-Engineering Conference, 21-22 May 2009, Songkhla, Thailand.
- Muadpon R., Tachapattaworakul Suksaroj T. and Kantachote D. (2009). Ethanol Production from Expired Carbonated Soft Drink Using *Saccharomyces cerevisiae*. The 10th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering “International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind”, 1-3 April 2009, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- Poboonchern P., Tachapattaworakul Suksaroj T. and Kantachote D. (2009). Pretreatment of Expired Carbonated Soft Drink by Microorganisms. The 10th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering “International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind”, 1-3 April 2009, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- Siripanpong P., Suksaroj C., Tachapattaworakul T., Sakunrat J. and Musikavong J. (2008). Treatment of Organic Matters in Landfill Leachate by Bioextract juice. The 6th international symposium on Southeast Asian environment, 29-31 October 2008, Bandung, Indonesia.

Tachapattaworakul Suksaroj T., Suksaroj C., Pongpetch N. and Anontree A., (2008). The Effect of Washing Water Volume Decrease on Frozen Surimi Quality. Annual cleaner technology meeting, Bangkok.

Klodkaew S., Tachapattaworakul T. and Kanthachot D. (2008). Non-Specific disease Resistance Stimulation of Cucumber by Effective Microorganisms. The 10th National Graduate Research Conference ,11-12 September 2008 ,Bangkok.

Labaiji A., Tachapattaworakul T. and Suksaroj C. (2008). Water treatment by contact Flocculation filtration. The 1st conference on water resource management and technology, May 8-9, 2008, Songkhla, Thailand.

Ounsaneha W., Tachapattaworakul T. and Boonsawang P. (2008). Appropriate approach for implementing environmental management system) ISO 14001 : 2004) in aqua feed industry. The 7th national environmental conference, March, 12-14, 2008, Bangkok, Thailand.

-การนำเสนอผลงานทางวิชาการในที่ประชุมวิชาการ (poster presentation)

Tachapattaworakul T.S. and Suksaroj C. (2008) Reduction of Natural Organic Matters by Contact Flocculation Filtration using Alum or Ferric Chloride as a Coagulant, presented in poster session : The 6th international symposium on southeast asian environment, 29-31 October 2008, Bundung, Indonesia.

Tachapattaworakul T., Fontana-Tachon A. and Guiraud JP. (2006) *Trichoderma atroviride* cultivation in liquid medium for production of biomass and 6-pentyl- α -pyrone (6-PP), presented in poster session : 20th International ICFMH Symposium, 29 August-2 September 2006, Bologna, Italy.

Ratomahenina R., Tachapattaworakul T. and Guiraud JP. (2006) Rapid detection and identification of *Trichoderma atroviride* by RAPD-PCR technique and use of mutants resistant, presented in poster session : 2nd FEMs Congress of European Microbiologists, 4-8 July, Madrid, Spain

Tachapattaworakul T., Fontana-Tachon A. and Guiraud JP. (2006) Production of *Trichoderma atroviride*, a biocontrol agent, by solid and liquid state fermentation, presented in poster session : Annual Conference of the Association of General and Applied Microbiology (VAAM), 19-22 March 2006, Jena, Germany.

คู่มือ/หนังสือ :

- “มาตรฐานคุณภาพน้ำและดัชนีหลักในการประเมินคุณภาพน้ำ” หน้า 19-27 ในคู่มือ “การประเมินผลคุณภาพน้ำ” (137 หน้า) โดยคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ร่วมกับ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม และสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 สำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

- สมทิพย์ ด่านธีรวณิชย์ เจตจรรย์ ศิริวงศ์ พนาลี ชิวกิดาการ ภัทรธร เอื้อกฤดาธิการ และ ชันวดี เตชะภัททวรกุล. (2553) คุณภาพน้ำและการจัดการ. สำนักพิมพ์จอยพรินท์ สงขลา

งานบริการวิชาการ :

- อาจารย์พี่เลี้ยง โครงการเทคโนโลยีสะอาด ประจำปี 2551 บริษัท หาดทิพย์ จำกัด (มหาชน)
- ที่ปรึกษา โครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสีเขียว ประจำปี 2551 บริษัท สยามอินเตอร์เนชั่นแนลฟู้ด จำกัด
- อาจารย์พี่เลี้ยง โครงการเทคโนโลยีสะอาด ประจำปี 2551 บริษัท เอส. แพ็ค แอนท์ พรินท์ จำกัด (มหาชน)
- ที่ปรึกษา โครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสีเขียว ประจำปี 2551 บริษัท แปซิฟิกปลาป่น จำกัด
- หัวหน้าโครงการประเมินสภาพแวดล้อม โรงโม่และเหมืองหิน จ. กระบี่ ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ จ. กระบี่ ตามโครงการโรงโม่เหมืองหินติดดาวประจำปี 2551 ของกรมควบคุมมลพิษ
- อาจารย์พี่เลี้ยง โครงการเทคโนโลยีสะอาด ประจำปี 2550 บริษัทแปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด
- หัวหน้าโครงการ การประเมินความเสี่ยงโรงงานผลิตไบโอดีเซล ขนาดกำลังการผลิต 10,000 ลิตร/วัน องค์การบริหารส่วนจังหวัดสุราษฎร์ธานี