



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเตรียมปฏิกิริยาจากกากชี้นำอย่างชัน

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสาวนีย์ ก่ออุดมกุลรังษี และ คณะ

30 มิถุนายน 2547

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “กลุ่มโครงการวิจัยย่อย วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ มอ. (2)”
: การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเตรียมปุ๋ยเหลวจากกากขี้แป้งน้ำยางชั้น

Research and Development of Natural Rubber Latex and Products-PSU small project group (2)
: Preliminary study of liquid fertilizer preparation from concentrated latex sludge

คณะวิจัย	สังกัด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสาวนีย์ ก่อวุฒิภูรังษี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร. วิไลรัตน์ ชีวะเศรษฐกรรม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางสาวชนธรณ์ นวลปาน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุดโครงการ การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปของผู้บริหาร

(Executive Summary)

การผลิตน้ำยางข้นส่วนใหญ่ใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ น้ำยางสดที่ใช้ในการผลิตน้ำยางข้น จะมีการเติมแอมโมเนียมเพื่อกับรักษาน้ำยางก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นน้ำยางข้น และมีการตกตะกอนโลหะแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางสด โดยการเติมสารเคมี Diammonium hydrogen phosphate (DAHP) กากจีเป้งที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำยางข้นจึงมีองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียมอยู่ปริมาณมากพอควร นอกจากนี้ยังมีความชื้นและสิ่งเจือปนอื่นๆ ประเภทสารอินทรีย์ และอนินทรีย์อยู่ โดยกากจีเป้งนี้ถือว่าเป็นของเสียจากการผลิตน้ำยางข้นที่ทางโรงงานไม่ต้องการ จะกำจัดทิ้งด้วยวิธีการที่ไม่เหมาะสม โดยการทิ้งไปหรือใช้ในการถมพื้นที่ถมถนนรวมทั้งการเผาทิ้งอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับสมบัติทางเคมีและกายภาพของกากจีเป้งที่เกิดจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากจีเป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยเหลว โดยการเก็บตัวอย่างกากจีเป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น 3 บริษัทในภาคใต้ เขตจังหวัดปัตตานีและสงขลา ทำการวิเคราะห์สมบัติของกากจีเป้ง คือ pH, Density, Total Solids Content, Volatile Solids Content, Moisture content ด้วยวิธี Gravimetric Method, วิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของปุ๋ย ได้แก่ Total Nitrogen (N), Total Phosphorus ในรูปของ P_2O_5 , Total Potassium ในรูปของ K_2O , Magnesium (Mg), Zinc (Zn) และ Calcium (Ca) ด้วยเทคนิค Kjeldahl, Spectrophotometric Molybdovanadophosphate Method และ Atomic Atomic Absorption Spectrophotometric Method

การศึกษาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของกากจีเป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นพบว่า มีสภาพค่อนข้างเป็นกลาง มีความหนาแน่นแตกต่างกันขึ้นกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีอยู่ในกากจีเป้ง (TSC) ความชื้น (MS) ในกากจีเป้งจะขึ้นอยู่กับการบวนการผลิตในแต่ละโรงงาน ส่วนของแข็งที่ระเหยได้ (VS) และของแข็งที่คงอยู่ (FS) จะขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำยางข้น ปริมาณธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในการใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญของปุ๋ย ได้แก่ N, P, K, Mg, Zn และ Ca มีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละโรงงานที่ผลิต โดยธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดในกากจีเป้งแห้ง 3 อันดับแรกคือ P, Mg, และ N มีปริมาณ 14.69%, 12.24% และ 3.31% ตามลำดับ เนื่องจากเป็นธาตุองค์ประกอบของ Magnesium ammonium phosphate ($MgNH_4PO_4$) ซึ่งผู้ผลิตได้ใส่สารเคมีที่มีองค์ประกอบของธาตุนี้อยู่ในน้ำยางระหว่างกระบวนการผลิต

ธาตุที่มีอยู่ในกากจีเป้งสามารถละลายในน้ำได้มากที่สุด 3 อันดับแรกคือ Mg, N และ K มีปริมาณ 3.90%, 0.26% และ 0.25% ตามลำดับ สำหรับค่า BOD และ COD ของน้ำสกัดกากจีเป้ง

ตรวจสอบโดยใช้เทคนิค Azide Modification Method และ Open Reflux Method ตามลำดับ พบว่า สัดส่วนของ BOD ต่อ COD ของเหลวที่สกัดได้มีค่ามากกว่า 0.5 ดังนั้นกากจีแป้งเมื่อละลายน้ำแล้ว น้ำที่ได้มีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้

การนำกากจีแป้งมาย่อยสลายด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น (H_3PO_4) จนมีลักษณะเป็นของเหลว สามารถเพิ่มปริมาณธาตุอาหารประเภทฟอสเฟต และธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในการจีแป้ง สามารถถูกแยกออกมาในรูปของเหลว ใช้เป็นเทคนิคในการเตรียมเป็นปุ๋ยเหลวได้ พบว่าธาตุที่มีอยู่ในกากจีแป้งสามารถละลายในน้ำได้มากที่สุด 3 อันดับแรกคือ P, Mg และ N มีปริมาณ 30.24%, 7.31% และ 1.13% ตามลำดับ

บทคัดย่อ

กากซีเมนต์จากโรงงานน้ำยางข้นในภาคใต้เขตจังหวัดปัตตานีและสงขลา พบว่า มีธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ N, P, K, Mg, Zn และ Ca จากการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุในกากซีเมนต์ พบว่าธาตุ N, P (ในรูปของ P_2O_5), K (ในรูปของ K_2O), Mg, Zn และ Ca มีปริมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.31, 14.69, 1.01, 12.24, 0.63 และ 0.03 % น้ำหนักโดยน้ำหนัก ตามลำดับ กากซีเมนต์นำมาสกัดด้วยน้ำกลั่น พบว่า Mg จะละลายออกมามากที่สุดประมาณ 3.90 % โดยน้ำหนัก รองลงมาคือ N, K, Zn, P และ Ca โดยการละลายจะมีค่าประมาณ 0.26, 0.25, 0.16, 0.08 และ 0.01% น้ำหนักโดยน้ำหนักตามลำดับ สำหรับค่าสัดส่วนของ BOD ต่อ COD ของของเหลวที่สกัดได้พบว่ามีค่ามากกว่า 0.5 ดังนั้นกากซีเมนต์เมื่อละลายน้ำแล้วน้ำที่ได้จะมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการเตรียมปุ๋ยเหลวจากกากซีเมนต์ จึงได้ทำการศึกษาปริมาณธาตุและเกลือแร่ในกากซีเมนต์ที่ผ่านการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น พบว่ามีปริมาณ N, P (ในรูปของ P_2O_5), K (ในรูปของ K_2O), Mg, Zn และ Ca เฉลี่ยเท่ากับ 1.13, 30.24, 0.51, 7.32, 0.29 และ 0.02 % น้ำหนักโดยน้ำหนัก อาจสรุปได้ว่ากากซีเมนต์ที่ใช้สามารถที่จะใช้เป็นของเหลวเบื้องต้นในการนำไปเตรียมเป็นปุ๋ยเหลวต่อไป

คำสำคัญ : ปุ๋ยเหลว กากซีเมนต์ ธาตุอาหาร น้ำยางข้น

Abstract

The sludge collected from the rubber concentrated latex factories in Songkhla and Pattani, areas were found to contain several nutrient elements such as N, P, K, Mg, Zn and Ca. The quantitative analysis of sludge's elements found that N, P (as P_2O_5), K (as K_2O), Mg, Zn and Ca were 3.31, 14.69, 1.01, 12.24, 0.63 and 0.03 % w/w (dry weight), respectively. The sludge was extracted with de-ionized water. It could be leached and dissolved in water. Magnesium (Mg) was found to be the most soluble in water at about 3.90 % w/w (wet weight), whereas the solubility of N, K, Zn, P and Ca were 0.26, 0.25, 0.16, 0.08 and 0.01 % w/w (wet weight), respectively. The eluent from sludge extraction was analyzed for BOD_5 and COD. The proportion value of BOD_5 to COD was more than 0.5, indicated that the eluent of sludge extraction was capable of biodegradability. In order to investigate the possibility of liquid fertilizer preparation from sludge, some nutrients and minerals in H_3PO_4 digested sludge were studied. The acid digested sludge was found to contain N, P (as P_2O_5), K (as K_2O), Mg and Zn at 1.13, 30.24, 0.51, 7.32, 0.29 and 0.02 % w/w (wet weight), respectively. It can be concluded that the sludge has capability of being degraded by biological method and can be used as liquid base in the preparation of liquid fertilizer formulation.

Keywords : Liquid Fertilizer, Sludge, Nutrient elements, Concentrated latex

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปของผู้บริหาร	i
บทคัดย่อ	iii
Abstract	iv
สารบัญ	v
สารบัญ รูป	vii
สารบัญ ตาราง	viii
เนื้อหาวิจัย	
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 นวัตกรรมชาติ	3
2.2 การผลิตน้ำยางข้น	3
2.3 ปุ๋ย	6
2.4 มาตรฐานข้อกำหนดปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ย	7
2.5 ปุ๋ยที่จำหน่ายทางการค้า	8
3. การทดลอง	9
3.1 การดำเนินการทดลอง	9
3.1.1 การเก็บตัวอย่างกากจี้แบ่งจากโรงงานน้ำยางข้น	9
3.1.2 การเตรียมกากจี้แบ่ง	9
3.1.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเคมีของกากจี้แบ่ง	10
3.1.4 ศึกษาวิธีการแปรสภาพกากจี้แบ่งให้มีลักษณะเป็นปุ๋ยเหลว	10
3.1.5 วิเคราะห์สมบัติเคมีของปุ๋ยเหลวที่ได้จากกากจี้แบ่ง	10
3.2 วิธีการวิเคราะห์กากจี้แบ่ง	11
3.2.1 ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	11
3.2.2 ความหนาแน่น (density)	11
3.2.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด ความชื้นและปริมาณของแข็งที่ระเหยได้	12
3.2.4 ไนโตรเจนทั้งหมด	13

3.2.5	ฟอสฟอรัสทั้งหมด	15
3.2.6	ธาตุอาหารรอง	17
3.2.7	การหาค่า COD	20
3.2.8	การหาค่า BOD	22
4.	ผลการทดลองและวิจารณ์	25
4.1	ลักษณะและสมบัติของกากจี้เป้งจากโรงงานน้ำยางข้น	26
4.1.1	กากจี้เป้งสด	28
4.1.1.1	ค่า pH	28
4.1.1.2	ความหนาแน่น (Density)	29
4.1.1.3	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) และปริมาณความชื้น (MC)	30
4.1.1.4	ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ (FS) และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (VS)	31
4.1.2	กากจี้เป้งอบแห้ง	32
4.1.2.1	ไนโตรเจน (Total Nitrogen)	33
4.1.2.2	ฟอสฟอรัส (Total Phosphorus)	33
4.1.2.3	โพแทสเซียม (Total potassium)	33
4.1.2.4	โลหะหนักอื่นๆ	33
4.1.3	ความสามารถในการละลายน้ำของธาตุต่างๆ ของกากจี้เป้ง	34
4.1.4	ค่า BOD และ COD ของน้ำที่ได้จากการละลายกากจี้เป้ง	36
4.2	ปุ๋ยเหลว	38
4.2.1	ความสามารถในการย่อยเป้งเหลว	38
4.2.2	ลักษณะของกากจี้เป้งเหลว	40
4.2.3	สมบัติของปุ๋ยเหลว	42
5.	สรุปและข้อเสนอแนะ	46
	เอกสารอ้างอิง	48
	ภาคผนวก ก	50
	ภาคผนวก ข	75

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	ส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำยางสดหลังการปั่นแยก	25
รูปที่ 2.2	การผลิตน้ำยางข้นและการเกิดของเสียของโรงงานน้ำยางข้น	26
รูปที่ 4.3	ลักษณะกากจี้แป้งสดบริเวณถังปั่นหลังทำการเซนทริฟิวส์น้ำยางสด	27
รูปที่ 4.4	ลักษณะกากจี้แป้งอบแห้งหลังการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส บดเป็นผงละเอียด	27
รูปที่ 4.5	ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของกากจี้แป้งของโรงงานต่างๆ	29
รูปที่ 4.6	ค่าความหนาแน่นของกากจี้แป้งของโรงงานต่าง ๆ	30
รูปที่ 4.7	ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC), ความชื้น (MC), ของแข็งที่คงอยู่ (FS) และ ของแข็งที่ระเหยได้ (VS) ของกากจี้แป้งของโรงงานต่าง ๆ	31
รูปที่ 4.8	ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ของกากจี้แป้งอบแห้ง	32
รูปที่ 4.9	ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำสกัดกากจี้แป้งของโรงงานต่างๆ	33
รูปที่ 4.10	ปริมาณธาตุต่างๆ ของน้ำสกัดกากจี้แป้งของโรงงานต่างๆ	35
รูปที่ 4.11	ค่า BOD และ COD ของน้ำที่ได้จากการละลายกากจี้แป้งในน้ำของโรงงานต่างๆ	37
รูปที่ 4.12	ค่า BOD / COD ของน้ำที่ได้จากการละลายกากจี้แป้งในน้ำกลั่นของโรงงานต่างๆ	38
รูปที่ 4.13	ปริมาณไนโตรเจนของกากจี้แป้งเหลวที่ย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นและ กรดฟอสฟอริกเข้มข้นที่อัตราส่วนต่างๆ	39
รูปที่ 4.14	ลักษณะกากจี้แป้งเหลวที่ย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น	40
รูปที่ 4.15	ลักษณะกากจี้แป้งเหลวที่ย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นต่อ กรดฟอสฟอริกเท่ากับ 25 : 75	40
รูปที่ 4.16	ลักษณะกากจี้แป้งเหลวที่ย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นต่อ กรดฟอสฟอริกเท่ากับ 50 : 50	40
รูปที่ 4.17	ลักษณะกากจี้แป้งเหลวที่ย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นต่อ กรดฟอสฟอริกเท่ากับ 75 : 25	41
รูปที่ 4.18	ลักษณะกากจี้แป้งเหลวที่ย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น	41
รูปที่ 4.19	ปริมาณฟอสฟอรัส, แมกนีเซียมและสังกะสีในกากจี้แป้งเหลว	42
รูปที่ 4.20	ปริมาณไนโตรเจน, โพแทสเซียมและแคลเซียมในกากจี้แป้งเหลวที่ย่อยด้วย กรดฟอสฟอริกเข้มข้น	43
รูปที่ 4.21	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของธาตุอาหารต่างๆ ระหว่างในกากจี้แป้งเหลวและ น้ำสกัดกากจี้แป้ง	44

สารบัญรูป

(ภาคผนวก)

รูปที่ 1	ค่า Abs. ของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ	72
รูปที่ 2	ค่า Abs. ของสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมที่ความเข้มข้นต่างๆ	72
รูปที่ 3	ค่า Abs. ของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ	73
รูปที่ 4	ค่า Abs. ของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่ความเข้มข้นต่างๆ	73
รูปที่ 5	ค่า Abs. ของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ความเข้มข้นต่างๆ	74

สารบัญ ตาราง

ตารางที่ 2.1	มาตรฐานเกณฑ์คลาดเคลื่อนปริมาณธาตุอาหารรับรองในการเตรียมและการวิเคราะห์ ปุ๋ยเคมี	7
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างสูตรปุ๋ยที่จำหน่ายทางการค้า	8
ตารางที่ 3.1	แสดงอัตราการเจือจางน้ำที่เหมาะสม	23
ตารางที่ 4.1	สมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของกากชี้เป้งสดของแต่ละโรงงาน	28
ตารางที่ 4.2	สมบัติทางเคมีของกากชี้เป้งอบแห้งของโรงงานต่างๆ	32
ตารางที่ 4.3	ปริมาณธาตุชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำสกัดกากชี้เป้ง	34
ตารางที่ 4.4	ค่า BOD และ COD ของน้ำสกัดกากชี้เป้ง	36
ตารางที่ 4.5	ปริมาณไนโตรเจนของกากชี้เป้งเหลวที่ย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นและกรดฟอสฟอริก เข้มข้นที่อัตราส่วนต่างๆ	38
ตารางที่ 4.6	ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ในกากชี้เป้งเหลว	42
ตารางที่ 4.7	ความแตกต่างของปริมาณธาตุต่างๆ ในกากชี้เป้งเหลวและน้ำสกัดกากชี้เป้ง	44

สารบัญ ตาราง

(ภาคผนวก)

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 1 ค่า pH ของกากชี้เป้งของโรงงานต่างๆ	50
ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นของกากชี้เป้งของโรงงานต่างๆ	51
ตารางที่ 3 น้ำหนักของถั่วระเหยและน้ำหนักของถั่วระเหยรวมกับกากชี้เป้งที่สภาวะต่างๆ	52
ตารางที่ 4 น้ำหนักของกากชี้เป้งทั้งในแบบสด หลังอบและหลังเผา	52
ตารางที่ 5 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดทั้งหมด (%TSC), ความชื้น (%MC), ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ (%FS) และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (%VS) ของกากชี้เป้งของโรงงานต่างๆ	53
ตารางที่ 6 ปริมาณไนโตรเจนในกากชี้เป้งอบแห้ง	54
ตารางที่ 7 ปริมาณไนโตรเจนในน้ำสกัดจากกากชี้เป้ง	55
ตารางที่ 8 ปริมาณฟอสเฟตในกากชี้เป้งอบแห้ง	56
ตารางที่ 9 ปริมาณฟอสเฟตในน้ำสกัดกากชี้เป้ง	57
ตารางที่ 10 ปริมาณโลหะหนักของกากชี้เป้งอบแห้ง	59
ตารางที่ 11 ปริมาณโลหะหนักของน้ำสกัดกากชี้เป้ง	62
ตารางที่ 12 ค่า BOD ของน้ำสกัดกากชี้เป้งของโรงงานต่างๆ	64
ตารางที่ 13 ค่า COD ของน้ำสกัดกากชี้เป้งของโรงงานต่างๆ	65
ตารางที่ 14 ปริมาณไนโตรเจนของกากชี้เป้งเหลวที่ถูกย่อยด้วยกรด HNO_3 และ H_3PO_4 ที่อัตราส่วนต่างๆ	66
ตารางที่ 15 ปริมาณไนโตรเจนของกากชี้เป้งเหลวที่ถูกย่อยด้วยกรด H_3PO_4	67
ตารางที่ 16 ปริมาณฟอสฟอรัสของกากชี้เป้งเหลวที่ถูกย่อยด้วยกรด H_3PO_4	68
ตารางที่ 17 ปริมาณโลหะหนักของกากชี้เป้งเหลวที่ถูกย่อยด้วยกรด H_3PO_4	70

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบ วัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการ และ ผลที่ได้รับจากโครงการ	75
---	----

เนื้อหาวิจัย

1. บทนำ

การผลิตน้ำยางข้นมีวัตถุประสงค์เพื่อให้น้ำยางสดมีความเข้มข้นเหมาะสมต่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีการกำจัดการบางอย่างที่มีอยู่ในน้ำยางสดออกไป เพื่อให้ได้คุณภาพเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยาง น้ำยางสดจากสวนมีปริมาณเนื้อยางเฉลี่ย 35% มีส่วนที่ไม่ใช่ยาง 5% ส่วนที่เหลือเป็นน้ำ การผลิตน้ำยางข้นโดยทั่วไปมี 4 วิธี ได้แก่ วิธีระเหยน้ำ วิธีทำให้เกิดคริม วิธีแยกด้วยไฟฟ้า และวิธีปั่น

ประเทศไทยผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง เพื่อแยกน้ำและสารเจือปนอื่นๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำออกไปบางส่วน ปกติน้ำยางข้นที่ได้จากเครื่องปั่นจะมีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60% เครื่องปั่นน้ำยางขนาดเล็กๆ สามารถแยกน้ำยางสดได้ประมาณ 15 ลิตร/ชั่วโมง และเครื่องขนาดใหญ่แยกน้ำยางสดได้ 400-600 ลิตร/ชม ปกติการเดินเครื่องปั่นจะสามารถเดินติดต่อกันได้อย่างมากครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมง เพราะจำต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดล้างพวก “ตม” หรือ “กากขี้แป้ง” (Sludge) ที่ติดอยู่ในเครื่อง (อุตสาหกรรมแปรรูปน้ำยางสด, 2003)

โดยทั่วไปในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีการเติม DAHP (diammonium hydrogen phosphate) ลงไปในน้ำยางสดเพื่อให้แมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางเกิดปฏิกิริยาเป็น Magnesium ammonium phosphate ตกตะกอนลงกันถึงขณะที่ไว้ข้ามคืน นอกจากนี้มีการเติมแอมโมเนียลงไปเพื่อรักษาสภาพน้ำยาง ทำให้กากขี้แป้งที่ได้จากการปั่นมีองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียมอยู่ มีลักษณะเป็นตะกอนสีเหลืองน้ำตาลคล้ำหรือสีขาว (เสาวนีย์, 2546)

น้ำยางข้นมีของเสียจำพวกกากขี้แป้งออกมาประมาณ 1-2 % โดยน้ำหนักของน้ำยางสดที่นำมาผลิตเป็นน้ำยางข้น แต่ละโรงงานจะมีการใช้น้ำยางสดเพื่อผลิตเป็นน้ำยางข้นอยู่ในช่วงระหว่าง 39.91 – 157.56 ตันต่อวัน ทำให้สามารถคำนวณของเสียในรูปของกากขี้แป้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นประมาณ 0.39 – 1.58 ตันต่อวัน (วันชัย, 2540) โดยส่วนใหญ่โรงงานน้ำยางข้นจะดำเนินการกำจัดของเสียจำพวกกากขี้แป้งโดยการทิ้ง ถมพื้นที่ ถมถนนตลอดจนเผาทิ้ง

จากกระบวนการจัดการของเสียของแต่ละโรงงาน พบว่ามีความไม่เหมาะสมและอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ การศึกษาหาแนวทางในการจัดการนำเอาของเสียดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ใหม่อย่างเหมาะสม โดยเน้นการศึกษาถึงการนำกากขี้แป้งจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นไปใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยเหลว

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาสมบัติเบื้องต้นของกากซีเมนต์ที่เกิดจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น
- 2) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากซีเมนต์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยเหลว

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทำให้ทราบสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากซีเมนต์ที่เกิดจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น
- 2) ทำให้ทราบส่วนประกอบของสารที่ได้จากการย่อยกากซีเมนต์ สามารถใช้เป็นแนวทางในการทำปุ๋ยเหลว เป็นการเพิ่มมูลค่าของเสียจากโรงงานน้ำยางข้น

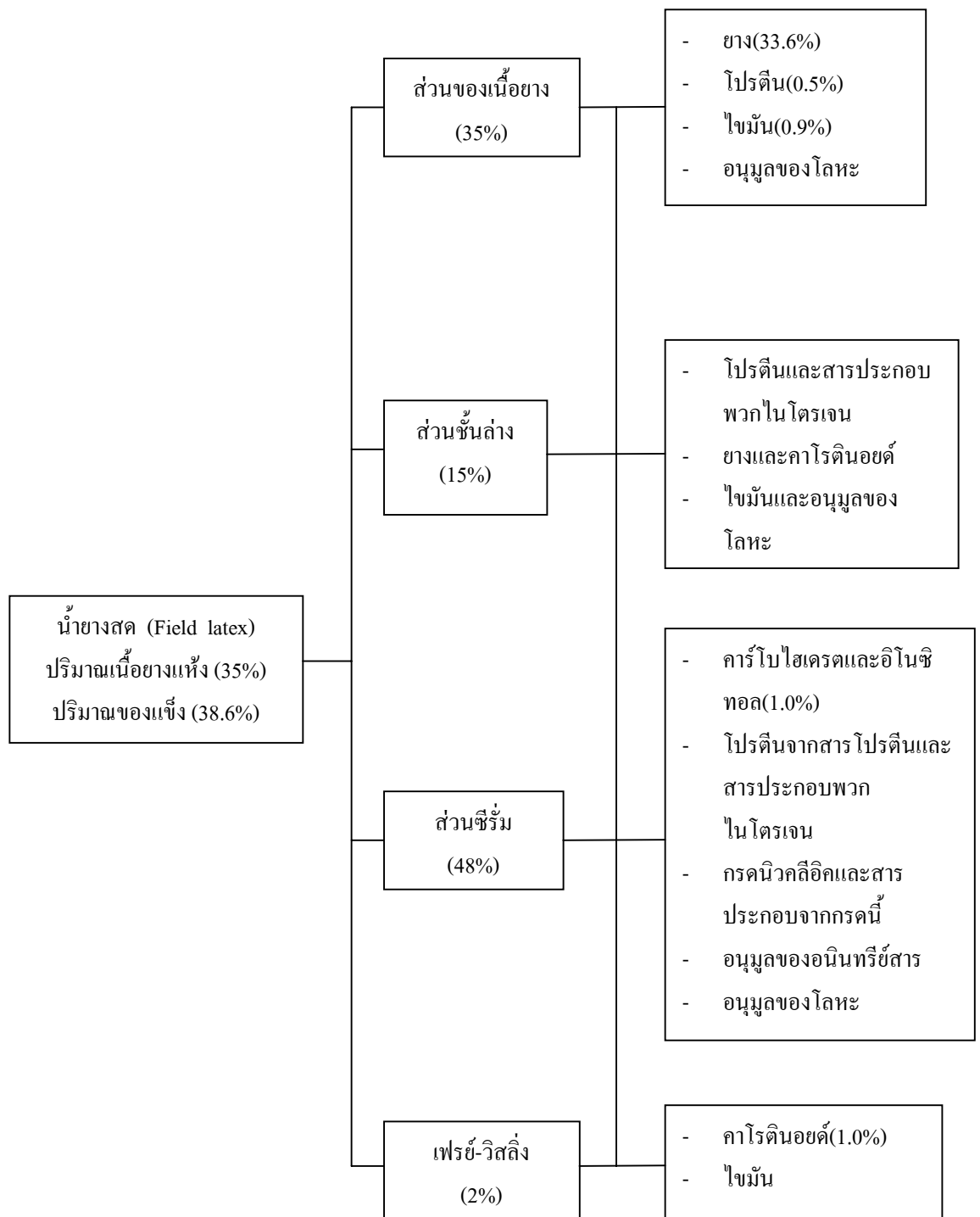
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำยางธรรมชาติ

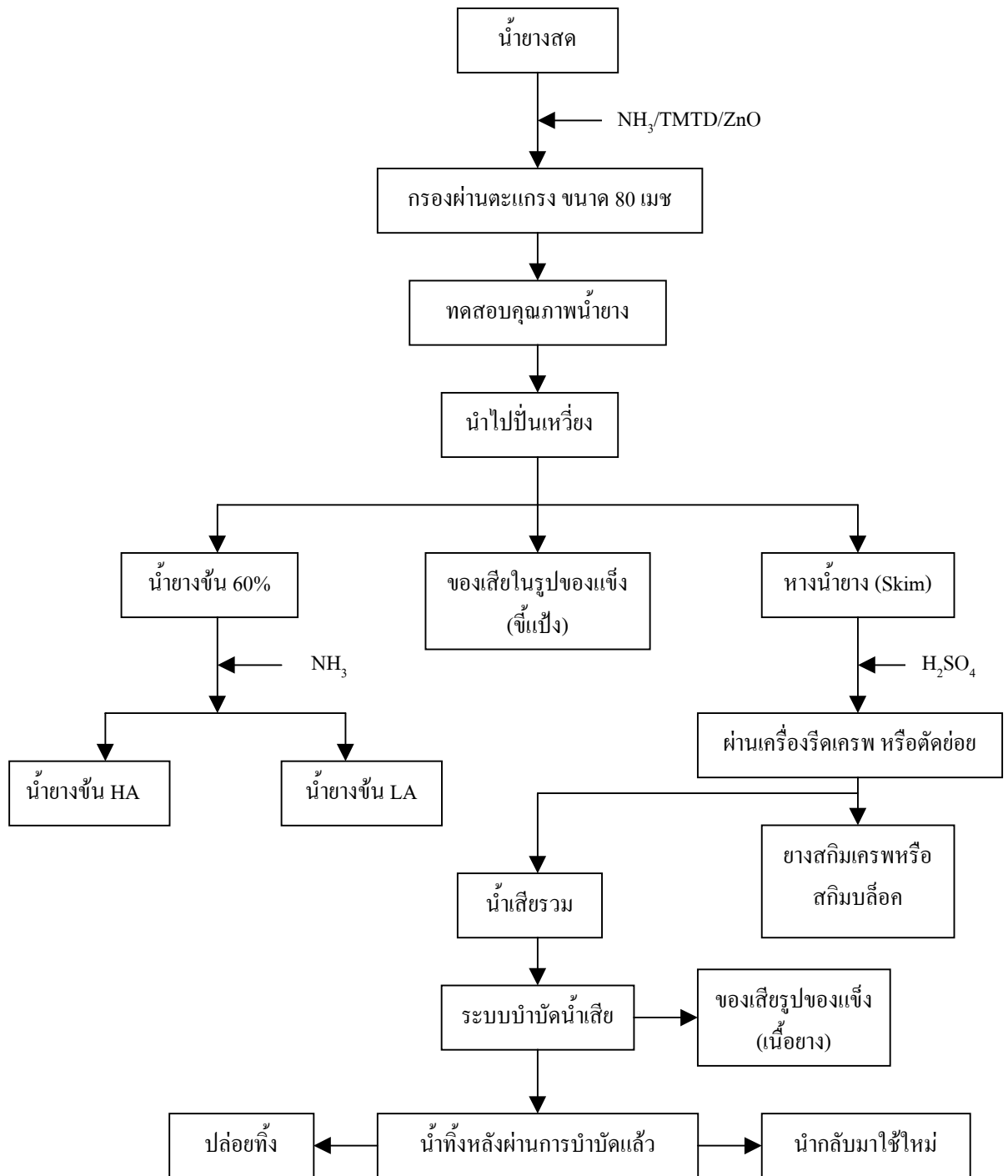
น้ำยางสดมาขึ้นด้วยความเร็วสูงประมาณ 20000 รอบต่อนาที จะสามารถแยกน้ำยางออกได้ 4 ส่วน เรียงจากด้านบนถึงด้านล่างของภาชนะ ได้แก่ ส่วนของเนื้อยาง อนุภาคเพรช-วิสคิง เซรุ่ม และส่วนชั้นล่าง (รูปที่ 2.1) ส่วนของเนื้อยางอยู่ด้านบนสุด มีลักษณะเป็นครีมสีขาว เป็นอนุภาคของยางอาจมีของแข็งอื่น เช่น อนุมูลของโลหะอื่นเจือปนบ้างเล็กน้อย ส่วนที่อยู่ติดกับเนื้อยางมีลักษณะเป็นอนุภาคเช่นเดียวกับยางแต่มีสีเหลือง เป็นอนุภาคของเพรช-วิสคิง เวลาปั่นมักปนอยู่ในส่วนของเซรุ่ม เซรุ่มจะมีสีใสปนเหลือง เป็นฟองง่าย ส่วนใหญ่ประกอบด้วย โปรตีน ฟอสฟอรัส ทองแดง โพแทสเซียมและแมกนีเซียม ส่วนที่อยู่ล่างสุดเป็นตะกอนสีเหลือง น้ำตาลคล้ำหรือสีขาว ส่วนใหญ่เป็นสารพวกโลหะหนักเช่น แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และ จีเถ้า (เสาวนีย์, 2546)

2.2 การผลิตน้ำยางข้น

การผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางสดโดยวิธีการปั่นมีขั้นตอนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยการนำน้ำยางสดจากสวนยางมาใส่สารเคมีรักษาสภาพน้ำยางป้องกันน้ำยางจับตัว เมื่อน้ำยางสดเข้าโรงงานผลิตน้ำยางข้น จะกรองผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช (Mesh) ลงสู่ถังรวมและนำตัวอย่างน้ำยางมาทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง หลังจากนั้นผ่านแก๊สแอมโมเนียสู่น้ำยางปริมาณไม่ต่ำกว่า 0.4 % ของน้ำหนักน้ำยาง ตั้งทิ้งไว้ 1 วันเพื่อปล่อยให้น้ำยางที่ได้ตกตะกอนเอาพวกสิ่งแปลกปลอมออกมาทดสอบปริมาณแมกนีเซียม หากน้ำยางมีปริมาณแมกนีเซียมสูงเกิน 50 ppm ให้เติม DAHP (diammonium hydrogen phosphate) เพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียมเกิดปฏิกิริยาเป็น Magnesium ammonium phosphate ตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยาง (เมื่อปั่นเป็นน้ำยางข้นแล้วควรมีแมกนีเซียมไม่เกิน 20 ppm) หลังจากนั้นนำน้ำยางไปปั่นเหวี่ยงได้น้ำยางข้นชนิด 60 % และหางน้ำยาง (Skim latex) น้ำยางข้น 60 % เก็บรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย ปริมาณ 0.7 % เรียกว่าน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia, HA) ถ้าใช้แอมโมเนีย 0.2 % ร่วมกับสารช่วยเก็บรักษาน้ำยางอื่น เรียกว่าน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia, LA) ส่วนของหางน้ำยางนำมาจับตัวเนื้อยางด้วยกรดซัลฟิวริก แล้วผ่านเครื่องรีดเคพหรือตัดย่อยทำสกิมเคพหรือสกิมบล็อด โดยในกระบวนการผลิตมีของเสียเกิดขึ้น น้ำเสียจากกระบวนการการผลิตน้ำยางข้นจะมีค่า BOD_5 เฉลี่ย 2390 มิลลิกรัม / ลิตร และมี pH เฉลี่ย 8.88 ส่วนน้ำเสียจากการผลิตยางสกิมเคพมีค่า BOD_5 เฉลี่ย 10489 มิลลิกรัม / ลิตร และมี pH เฉลี่ย 4.47 (วันชัย, 2540)



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำยางสดหลังการปั่นแยก



รูปที่ 2.2 การผลิตน้ำยางข้นและการเกิดของเสียของโรงงานน้ำยางข้น

2.3 ปุ๋ย

ปุ๋ย หมายถึง สารที่ให้ธาตุอาหารแก่พืชประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตงอกงามดีให้ผลผลิตสูงขึ้น โดยทั่วไปปุ๋ยแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ

“ปุ๋ยอินทรีย์” และ “ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์”

2.3.1 ปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดที่เป็นสารอินทรีย์

2.3.2 ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ เป็นปุ๋ยที่ได้มาจากเคมีโดยการสังเคราะห์ทางอุตสาหกรรมจากแร่ธาตุต่างๆ ที่ได้ตามธรรมชาติหรือเป็นผลพลอยได้ของโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด ปุ๋ยเคมีมีอยู่ 2 ประเภท คือ แม่ปุ๋ยหรือปุ๋ยเดี่ยว และปุ๋ยผสม

1) **ปุ๋ยเดี่ยวหรือแม่ปุ๋ย** ได้แก่ ปุ๋ยเคมีที่ให้ธาตุอาหารหลักเพียงธาตุเดียว เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ เป็นปุ๋ยให้ธาตุไนโตรเจน หรือโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เป็นปุ๋ยให้ธาตุโพแทสเซียม เป็นต้น

2) **ปุ๋ยผสม** ได้แก่ ปุ๋ยเคมีที่ให้ธาตุอาหารหลักตั้งแต่ 2 ธาตุขึ้นไป เช่น ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) ให้ธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียม หรือปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ ให้ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เป็นต้น ภาชนะบรรจุปุ๋ยเคมีจะมีตัวเลข 3 ตัวเขียนกำกับไว้เรียกว่า “เกรดปุ๋ย” ตัวเลขเหล่านี้แสดงค่าร้อยละของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมตามลำดับ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2541)

ธาตุอาหารที่พืชต้องการจากดินมี 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก (micro nutrient) มีทั้งหมด 6 ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ในจำนวนทั้ง 6 ธาตุนี้พืชต้องการเป็นธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ส่วนอีก 3 ธาตุเป็นธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S)

2. ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย (macro nutrient) มี 7 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn), สังกะสี (Zn), ทองแดง (Cu), โบรอน (B), โมลิบดีนัม (Mo) และคลอรีน (Cl)

ธาตุทั้งสองกลุ่มมีความสำคัญเท่าๆ กันแตกต่างกันตรงปริมาณที่พืชต้องการเท่านั้น ธาตุส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ยกเว้นไนโตรเจน และบางส่วนของกำมะถันและฟอสฟอรัสซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์

ธาตุต่างๆ เหล่านี้พืชจะนำเข้าไปในสภาพไอออน จะเป็นไอออนที่มีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ แต่โดยปกติธาตุที่อยู่ในดินมีเป็นส่วนใหญ่ที่อยู่ในรูปของไอออน ดังนั้น จึงต้องถูกสลายให้อยู่ในรูปของไอออนเสียก่อน พืชจึงจะนำไปใช้ได้ เช่น

- ธาตุไนโตรเจน ต้องอยู่ในรูป NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^-
- ธาตุฟอสฟอรัส ต้องอยู่ในรูป H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}
- ธาตุโพแทสเซียม ต้องอยู่ในรูป K^+

2.4 มาตรฐานข้อกำหนดปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ย

ตามความในมาตรา 34 แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้กำหนดเกณฑ์ปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยเคมีทุกชนิดที่อนุญาตให้ตลาดเคลื่อน โดยในการวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยเคมี ให้ถือเกณฑ์ตลาดเคลื่อนได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานเกณฑ์ตลาดเคลื่อนปริมาณธาตุอาหารรับรองในการเตรียมและการวิเคราะห์

ปุ๋ยเคมี (ราชกิจจานุเบกษา, 2528)

ธาตุอาหารหลัก	ปริมาณธาตุอาหาร (% โดยน้ำหนัก)	เกณฑ์ตลาดเคลื่อนขั้นต่ำ (% โดยน้ำหนัก)		
		ปุ๋ยเชิงเดี่ยวและ ปุ๋ยเชิงประกอบ	ปุ๋ยเชิงผสม	ปุ๋ยเชิงประกอบ และปุ๋ยเชิงผสม
ไนโตรเจน (N)	น้อยกว่า 8.0	0.4	0.4	2
	8.0 – 16.0	0.5	0.6	3
	16.1 – 24.0	0.6	0.8	4
	มากกว่า 24.0	0.8	1.0	5
ฟอสเฟต (P_2O_5)	น้อยกว่า 8.0	0.4	0.4	3
	8.0 – 16.0	0.5	0.6	4
	16.1 – 24.0	0.6	0.8	5
	มากกว่า 24.0	0.8	1.0	6
โปแตช (K_2O)	น้อยกว่า 8.0	0.5	0.5	2
	8.0 – 16.0	0.7	0.8	2
	16.1 – 24.0	0.8	1.0	4
	มากกว่า 24.0	1.0	1.2	5

2.5 ปุ๋ยที่จำหน่ายทางการค้า

สูตรปุ๋ยจะแสดงสัดส่วนของธาตุอาหารหลัก 3 ธาตุ คือ N, P และ K ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสูตรปุ๋ยที่จำหน่ายทางการค้า (ปุ๋ยเต็มสูตรผลผลิตเต็มร้อย, 2547)

สูตรปุ๋ย	ธาตุอาหาร	ปริมาณธาตุอาหาร (% โดยน้ำหนัก)
15 – 15 – 15 (พรีเมียม)	ไนโตรเจนทั้งหมด (N)	15
	ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5)	15
	โพแทสเซียมที่ละลายน้ำ (K_2O)	15
	กำมะถัน (S)	9
	แมกนีเซียม (MgO)	0.2
	โบรอน (B)	0.02
8 – 24 – 24 (พรีเมียม)	ไนโตรเจนทั้งหมด (N)	8
	ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5)	24
	โพแทสเซียมที่ละลายน้ำ (K_2O)	24
	กำมะถัน (S)	0.3
	โบรอน (B)	0.13
	แมงกานีส (Mn)	0.04
	สังกะสี (Zn)	0.01
18 – 12 – 6	ไนโตรเจนทั้งหมด (N)	18
	ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5)	12
	โพแทสเซียมที่ละลายน้ำ (K_2O)	6
	กำมะถัน (S)	16.61
	แคลเซียม (CaO)	0.73
16 – 8 – 8	ไนโตรเจนทั้งหมด (N)	16
	ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5)	8
	โพแทสเซียมที่ละลายน้ำ (K_2O)	8
15 – 7 – 18	ไนโตรเจนทั้งหมด (N)	15
	ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5)	7
	โพแทสเซียมที่ละลายน้ำ (K_2O)	18

3. การทดลอง

3.1 การดำเนินการทดลอง

3.1.1 การเก็บตัวอย่างกากชี้เป้งจากโรงงานน้ำยางข้น

เก็บตัวอย่างกากชี้เป้งจากตัวแทนโรงงานน้ำยางข้น 3 แห่งในพื้นที่จังหวัดสงขลาและปัตตานี คือ

บริษัท ถาวรอุตสาหกรรม จำกัด อ.สะเดา จ.สงขลา

บริษัท ฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัด อ.จะนะ จ.สงขลา

บริษัท ปัตตานีอุตสาหกรรม จำกัด อ.เมือง จ.ปัตตานี

โดยเก็บตัวอย่างจากจุดเกิดกากชี้เป้ง คือ ถังปั่นน้ำยาง การเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งจะเก็บกากชี้เป้งประมาณ 5 กิโลกรัมต่อตัวอย่าง

3.1.2 การเตรียมกากชี้เป้ง

1) การเตรียมกากชี้เป้งอบแห้ง

1. นำกากชี้เป้งมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อบจนกระทั่งกากชี้เป้งแห้งสนิท เป็นเวลาประมาณ 24 – 48 ชั่วโมง
2. นำมาบดจนมีลักษณะเป็นผงละเอียด นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีต่อไป

2) การเตรียมน้ำสกัดกากชี้เป้ง

1. นำกากชี้เป้งมาละลายน้ำกลั่น ด้วยอัตราส่วนกากชี้เป้ง 1 กรัม ต่อ น้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วนำมา sonicate ด้วยเครื่อง Ultrasonic เป็นเวลา 30 นาที
2. นำมาเซนตริฟิวส์ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที หลังจากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษ Whatman No.1 แยกระหว่างตะกอนและน้ำออกจากกัน นำน้ำสกัดที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีต่อไป

3.1.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเคมีของกากจีแป้ง

นำกากจีแป้งมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมี ได้แก่

- pH , Density, Moisture content,
- Total Solids Content,
- Volatile Solid Content,
- Total Nitrogen (N),
- Total Phosphorus ในรูปของ P_2O_5 ,
- Total Potassium ในรูปของ K_2O ,
- Magnesium (Mg)
- Zinc (Zn) และ Calcium (Ca)

3.1.4 ศึกษาวิธีการแปรสภาพกากจีแป้งให้มีลักษณะเป็นปุ๋ยเหลว

นำกากจีแป้ง 50 กรัมและน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาผสมให้เข้ากันโดยการกวนอย่างช้าๆ จากนั้นเติมกรดผสมปริมาตร 100 มิลลิลิตร ผสมกันระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นและกรดฟอสฟอริกเข้มข้นที่อัตราส่วนโดยปริมาตร 100 : 0 , 75 : 25 , 50 : 50, 25 : 75 และ 0 : 100 ปล่อยให้กากจีแป้งถูกย่อยด้วยกรดผสมอย่างสมบูรณ์ เป็นระยะเวลา 24–48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จนได้กากจีแป้งที่มีลักษณะเป็นของเหลว

3.1.5 วิเคราะห์สมบัติเคมีของปุ๋ยเหลวที่ได้จากกากจีแป้ง

วิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยเหลวกากจีแป้งและพารามิเตอร์ที่เป็นข้อกำหนดในมาตรฐานของปุ๋ย ได้แก่

- pH, Total Nitrogen (N),
- Total Phosphorus ในรูปของ P_2O_5 ,
- Total Potassium ในรูปของ K_2O ,
- Magnesium (Mg) ,
- Zinc (Zn)
- Calcium (Ca)

3.2 วิธีการวิเคราะห์กากขี้เถ้า

3.2.1 ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

(กากขี้เถ้า : น้ำ = 1 : 5 ; W/W)

- วิธีทำ**
1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
 2. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าประมาณ 30 นาที โดยเครื่องเขย่า (Shaker)
 3. วางทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 5 นาที
 4. วัดค่า pH ของสารละลายด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH Meter)

3.2.2 ความหนาแน่น (density)

- วิธีทำ**
1. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์และทำเครื่องหมายบอกระดับน้ำเอาไว้
 2. ชั่งกากขี้เถ้า 10 กรัมใส่ในบีกเกอร์
 3. บันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง (M)
 4. ใช้หลอดหยดหรือปิเปตดูดน้ำออกจนถึงขีดระดับที่ทำเครื่องหมาย นำมาวัดปริมาตร (V) ที่ถูกมวลของตัวอย่างแทนที่

การคำนวณ

$$D = M / V$$

- โดยที่**
- | | | |
|---|---|--|
| D | = | ความหนาแน่น (กรัม / มิลลิลิตร) |
| M | = | มวลหรือน้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม) |
| V | = | ปริมาตรของน้ำที่ถูกมวลแทนที่ (มิลลิลิตร) |

3.2.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด ความชื้นและปริมาณของแข็งที่ระเหยได้

(Total solid content, Moisture content and Volatile solid content : AOAC 1990)

ใช้เทคนิค : Gravimetric method

วิธีทำ

1. อบถ้วยระเหยที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
2. นำถ้วยไปใส่ในเคสซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น (ประมาณ 15 – 30 นาที)
3. ชั่งน้ำหนักถ้วย (A)
4. ตักตัวอย่างใส่ลงในถ้วย
5. บันทึกน้ำหนักรวมของถ้วยและตัวอย่าง (B)
6. นำถ้วยไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
7. นำถ้วยไปใส่ในเคสซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น (ประมาณ 15 – 30 นาที)
8. ชั่งน้ำหนักรวมของถ้วยและตัวอย่างหลังการอบ (C)
9. นำถ้วยไปเผาโดยใช้เตาเผาที่อุณหภูมิ 550 ± 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที
10. นำถ้วยไปใส่ในเคสซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น (ประมาณ 30 นาที)
11. ชั่งน้ำหนักรวมของถ้วยและตัวอย่างหลังการอบ (D)

การคำนวณ

$$\begin{aligned} \%TSC \text{ (ปริมาณของแข็งทั้งหมด)} &= (Y \times 100) / X \\ \%MC \text{ (ความชื้น)} &= ((X - Y) \times 100) / X \\ \%FS \text{ (ปริมาณของแข็งที่คงอยู่)} &= (Z \times 100) / Y \\ \%VS \text{ (ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้)} &= ((Y - Z) \times 100) / Y \end{aligned}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} X &= \text{น้ำหนักของสารตัวอย่างสด} &= B - A \text{ (กรัม)} \\ Y &= \text{น้ำหนักของสารตัวอย่างหลังอบ} &= B - C \text{ (กรัม)} \\ Z &= \text{น้ำหนักของตัวอย่างหลังเผา} &= C - D \text{ (กรัม)} \end{aligned}$$

3.2.4 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen : AOAC 1990)

ใช้เทคนิค : Kjeldahl method

การเตรียมสารเคมี

1. Catalyst mixture

ผสม Potassium sulfate 30 ส่วน Cupfer (II) – sulfate pentahydrate 4 ส่วน และ Selenium 1 ส่วน ให้เข้ากันเป็นอย่างดี ใช้ประมาณ 0.65 กรัมต่อตัวอย่างกากชี้แบ่ง 0.1 กรัม

2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Sulfuric acid)

3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% (Sodium hydroxide solution 40%)

ละลาย NaOH 400 กรัมในน้ำกลั่น ทำให้เย็นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร โดยน้ำ de-ionized

4. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mix indicator solution)

ละลาย Methyl red indicator 0.066 กรัม และ Bromocresol green 0.099 กรัมใน Ethyl alcohol ปรับเป็นสีเขียวเข้ม (pH ประมาณ 4.2) ด้วย 0.1 N NaOH แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย Ethyl alcohol

5. สารละลายกรดบอริกอินดิเคเตอร์ (Boric indicator solution)

ละลาย H_3BO_3 น้ำหนัก 20 กรัมในน้ำกลั่นประมาณ 900 มิลลิลิตร ให้ความร้อนบน Hot plate จนละลายหมดปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

6. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล (Standard hydrochloric acid solution 0.1 N)

ปีเปต conc. HCl 8.3 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตรในน้ำ de-ionized ประมาณ 800 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

วิธีทำ

1. ชั่งน้ำหนักกากชี้แบ่งประมาณ 1 กรัมใส่ในหลอดย่อยโปรตีน

2. เติม catalyst mixture 6.5 กรัมเพื่อเร่งปฏิกิริยาการย่อยซึ่งสารตัวเร่งจะเป็นตัวทำให้จุดเดือดของสารละลายสูงขึ้นและเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาณ 15 มิลลิลิตร

3. เตรียม blank โดยใส่เฉพาะกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร และ catalyst mixture 6.5 กรัมย่อยตัวอย่างด้วยเครื่องย่อยโปรตีนที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีใส ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

5. เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร และ 40% NaOH 40 มิลลิลิตร
6. เตรียม 4% กรดบอริก ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วรองไว้ได้ condenser ของเครื่องกลั่น
7. กลั่นตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยเครื่องกลั่นโปรตีน
8. เติมนินคิเคเตอร์ลงขวดรูปชมพู่ที่มีสารละลายที่ผ่านการกลั่น
9. ไตรเตรทด้วย 0.1 N HCl จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้

การคำนวณ

$$\% \text{Total N} = [(S - B) \times N \times 14] / (W \times 10)$$

- โดยที่ S = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตรเตรทสารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
- B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตรเตรท blank (มิลลิลิตร)
- N = Normality สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก
- W = น้ำหนักกากชี้แป้ง (กรัม)

3.2.5 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : AOAC 1990)

(Spectrophotometric Molybdovanadophosphate Method)

การเตรียมสารเคมี

1. กรดผสม

ผสม Conc.HNO₃ กับ 70% HClO₄ เข้มข้นในอัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปเก็บไว้ในขวดสีชา

2. สารละลายโมลิบโดวานาเตท (Molybdovanadate solution) หรือ Barton's reagent

2.1 ละลาย NH₄ molybdate.4 H₂O น้ำหนัก 40 กรัมในน้ำกลั่นร้อน 400 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ระหว่างกำลังละลายต้องใช้แท่งแก้วคนเป็นระยะๆ จนกว่าจะละลายหมด

2.2 ละลาย NH₄VO₃ น้ำหนัก 2 กรัมในน้ำกลั่นร้อน 250 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นและเติม 70% HClO₄ 450 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เย็น

2.3 ผสมสารละลายในข้อ 2.1 ลงในสารละลายในข้อ 2.2 ใช้แท่งแก้วคนและเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 2 ลิตร เก็บไว้ในขวดแก้วสีน้ำตาล ซึ่งจะได้สารละลายสีค่อนข้างเหลืองอ่อน

หมายเหตุ : ต้องเติมตามขั้นตอนนี้หากผิดขั้นตอนสารละลายจะเกิดการตกตะกอนไม่สามารถนำไปใช้งานได้

3. สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (Phosphate standard solution)

3.1 ละลาย KH₂PO₄ ซึ่งอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณ 0.4394 กรัม ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

3.2 เติมน้ำกลั่นจนครบ สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (P) = 1000 ppm

3.3 ปิเปตสารละลายจาก Stock solution ความเข้มข้น 1000 ppm มาปริมาตร 10 มิลลิลิตรใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนครบสารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (P) = 100 ppm

3.4 ปิเปตสารละลายจาก Stock solution ความเข้มข้น 100 ppm มาปริมาตรครั้งละ 1, 2, 3...6 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Molybdovanadate ขวดละ 10 มิลลิลิตร และใส่ในขวดวัดปริมาตรที่ไม่ได้เติมสาร

ละลายฟอสฟอรัส (P) ด้วยเพื่อทำเป็น blank เติมน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร ซึ่งจะทำให้สารละลายฟอสฟอรัส (P) ที่ความเข้มข้น 0, 1, 2, 3... 6 ppm ตามลำดับ

วิธีทำ

1. กากจีบแบ่งอบแห้ง 1 กรัม (ทศนิยมถูกต้อง 4 ตำแหน่ง) กรณีนี้น้ำสกัดจากกากจีบแบ่งให้เปียกมา 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
2. เติมกรดผสมลงไปประมาณ 20 มิลลิลิตร แล้วย่อยบน Hot plate ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ย่อยจนสารละลายมีลักษณะใสเหลืออยู่ในขวดรูปชมพู่ประมาณ 5 – 10 มิลลิลิตร เอาลงจาก Hot plate ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 – 4 ชั่วโมง ตามแต่ลักษณะของตัวอย่าง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. นำสารละลายที่ย่อยสมบูรณ์แล้วใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร การถ่ายจะต้องทำด้วยความระมัดระวัง จะต้องมีการขัดขวดรูปชมพู่ ด้วยแท่งโปลิชเมนให้ฟอสเฟตที่ติดอยู่ข้างขวดออกให้หมด เมื่อแน่ใจว่าหมดแล้วให้ทำการปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
4. ปิเปตสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 3 มา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร (ปริมาตรที่ปิเปตมาสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามปริมาณของฟอสเฟตที่มีอยู่ในตัวอย่าง ถ้ามีมากอาจปิเปตมาน้อยกว่า 5 มิลลิลิตร แต่ถ้ามีน้อยก็ปิเปตมามากกว่า 5 มิลลิลิตร) แล้วทำการเติมสารละลาย molybdovanadate 5 มิลลิลิตร (1 / 10 ของปริมาตรสุดท้ายที่ทำให้เจือจาง) ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที
5. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 420 nm เทียบกับสารละลายมาตรฐาน โดยให้แสงผ่าน blank หรือ 0 ppm 100% แล้วปรับเป็น 0 เมื่อแสงไม่ผ่าน โดยอ่านเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสง (Abs.)
6. อ่านค่าของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 0, 1, 2, 3...6 ppm ทำการวาดกราฟโดยให้แกนตั้งเป็นค่าการดูดกลืนแสง (Abs.) และแกนนอนเป็นค่าของความเข้มข้น (ppm.) แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างมาอ่านเปรียบเทียบกับกราฟว่าได้ค่าของความเข้มข้นจำนวนที่กี่ ppm

3.2.6 ธาตุอาหารรอง (Minor in Fertilizers : AOAC 1990)

ใช้เทคนิค : Atomic Absorption Spectrophotometric Method

การเตรียมสารเคมี

1. กรดผสม

ผสม Conc.HNO₃ กับ 70% HClO₄ เข้มข้นในอัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตรผสมให้เข้ากันแล้วนำไปเก็บไว้ในขวดสีชา

2. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (Potassium standard solution)

2.1 ชั่ง KCl ซึ่งอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ปริมาณ 0.1583 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันได้ สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมความเข้มข้น 1000 ppm

1.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมความเข้มข้น 1000 ppm มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันได้ สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมความเข้มข้น 100 ppm

2.3 เตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมสำหรับทำ calibration curve โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm มาปริมาตร 0.0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโพแทสเซียมที่มีความเข้มข้น 0.0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ppm

3. สารละลายมาตรฐานแคลเซียม (Calcium standard solution)

3.1 ปิเปต stock standard ของแคลเซียมความเข้มข้น 1000 ppm มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับ ปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันได้ สารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 100 ppm

3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมสำหรับทำ calibration curve โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 100 ppm มาปริมาตร 0.0, 1.0, 2.0, 3.0 และ 4.0 มิลลิลิตร จะได้สารละลายแคลเซียมที่มีความเข้มข้น 0.0, 1.0, 2.0, 3.0 และ 4.0 ppm

4. สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม (Magnesium standard solution)

4.1 ปิเปต stock standard ของแมกนีเซียมความเข้มข้น 1000 ppm มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันได้ สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมความเข้มข้น 100 ppm

- 4.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมสำหรับทำ calibration curve โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมความเข้มข้น 100 ppm มาปริมาตร 0, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 มิลลิลิตร จะได้สารละลายแคลเซียมที่มีความเข้มข้น 0.0, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 ppm
5. สารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zinc standard solution)
- 5.1 ปิเปต stock standard ของสังกะสีความเข้มข้น 1000 ppm มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันได้สารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 100 ppm
- 5.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสีสำหรับทำ calibration curve โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 100 ppm มาปริมาตร 0.0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสังกะสีที่มีความเข้มข้น 0.0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ppm

วิธีทำ

1. ชั่งกากซีเป้งอบแห้ง 1 กรัม (ทศนิยมถูกต้อง 4 ตำแหน่ง) ในกรณีเป็นน้ำสกัดจากกากซีเป้งให้ปิเปตมา 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
2. เติมกรดผสมลงไปประมาณ 20 มิลลิลิตร แล้วย่อยบน Hot plate ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ย่อยจนสารละลายมีลักษณะใสมีปริมาตรเหลืออยู่ประมาณ 5 – 10 มิลลิลิตร เอาลงจาก Hot plate ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 – 4 ชั่วโมง ตามแต่ลักษณะของตัวอย่าง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. นำสารละลายที่ย่อยสมบูรณ์แล้วใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร การถ่ายจะต้องทำด้วยความระมัดระวัง จะต้องมีการขัดขวดรูปชมพู่ด้วยแท่งโปลิชเมนให้โลหะหนักที่ติดอยู่ข้างขวดออกให้หมด เมื่อแน่ใจว่าหมดแล้วให้ทำการปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
4. ปิเปตสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 3 มา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร (ปริมาตรที่ปิเปตมาสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามปริมาณของโลหะหนักที่มีอยู่ในตัวอย่าง) ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร
5. นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ที่ wavelength ต่างๆ ตามความเหมาะสมของธาตุแต่ละตัว

หมายเหตุ :

- โฟแทสเซียมวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ wavelength 766.5 nm
- แมกนีเซียมวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ wavelength 285.2 nm

- สังกะสีวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ wavelength 213.9 nm
 - แคดเซียมวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ wavelength 422.7 nm
6. อ่านค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน ทำการวาดกราฟโดยให้แกนตั้งเป็นค่าการดูดกลืนแสง (Abs) และแกนนอนเป็นค่าของความเข้มข้น(ppm) แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างมาอ่านเปรียบเทียบกับกราฟว่าได้ค่าของความเข้มข้นจำนวนที่กี่ ppm

3.2.7 การหาค่า COD (Chemical Oxygen Demand : APHA, AWWA, and WEF, 1992)

ใช้เทคนิค : Open Reflux Method

การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพตัสเซียมไดโครเมต 0.25 นอร์มัล (Standard potassium dichromate solution, 0.25 N)
ละลาย $K_2Cr_2O_7$ ซึ่งอบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง. น้ำหนัก 12.259 กรัม ในน้ำกลั่น เติม Sulfamic acid 120 มิลลิกรัม ละลายให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น จนมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร
2. กรดซัลฟูริกและซิลเวอร์ซัลเฟต
ชั่ง Ag_2SO_4 8.8 กรัม ใส่ลงใน Conc. H_2SO_4 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 – 2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้หมดก่อนนำไปใช้ต่อไป
3. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator solution)
4. สารละลายมาตรฐานเฟรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล (Standard ferrous ammonium sulfate , 0.05 N)
ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 19.6 กรัม ในน้ำกลั่น เติม Conc. H_2SO_4 20 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

หมายเหตุ เนื่องจากความเข้มข้นของเฟรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous ammonium sulfate) ไม่คงที่และจะลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นต้องหาคความเข้มข้นที่แน่นอนทุกวันที่ใช้ โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานโพตัสเซียมไดโครเมต ดังนี้ ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพตัสเซียมไดโครเมต 5.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวยเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็น ไตเตรตด้วยเฟรัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเป็นสีน้ำตาลแดง จดปริมาตร Ferrous ammonium sulfate ที่ใช้

$$\text{ความเข้มข้นของ Ferrous ammonium sulfate , นอร์มัล} = \frac{5.0 \times 0.25}{\text{FAS (มิลลิลิตร)}}$$

5. เมอคิวริกซัลเฟต (Mercuric Sulfate)

วิธีทำ

1. เติมน้ำสกัดกากขี้เป้งปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรีฟลักซ์ เติมเมอคิวริกซัลเฟต 0.2 กรัม ใส่ลูกแก้วขนาดจิ๋ว 5 – 6 เม็ด แล้วจึงเติมสารละลายมาตรฐานโพตัสเซียมไดโครเมต 5.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. นำขวดรีฟลักซ์ไปต่อกับเครื่องรีฟลักซ์ เปิดน้ำหล่อเย็น เติมกรดซัลฟูริก – ซิลเวอร์ซัลเฟต 15 มิลลิลิตร ลงที่ปากคอนเดนเซอร์ เปิดไฟแล้วรีฟลักซ์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมง นำขวดรีฟลักซ์ออกและทำให้เย็น
3. ทำ blank พร้อมกัน โดยใช้น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ใช้สารเคมีต่างๆ เหมือนกับของตัวอย่างน้ำ ทำการรีฟลักซ์เช่นเดียวกับน้ำสกัดกากขี้เป้ง
- 3 เมื่อรีฟลักซ์ครบ 2 ชั่วโมงปิดไฟ ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นลงที่ปากเครื่องรีฟลักซ์ 40 มิลลิลิตร เพื่อล้างไอสารที่อยู่ภายในคอนเดนเซอร์ แล้วจึงปิดน้ำหล่อเย็น
- 4 นำขวดรีฟลักซ์มาไทเตรทหาปริมาณโพตัสเซียมไดโครเมตที่เหลือด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอโรอินประมาณ 2 – 3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเป็นฟ้าอมเขียวและกลายเป็นสีน้ำตาลในที่สุด จดปริมาณ Ferrous ammonium sulfate ที่ใช้ไทเตรท

การคำนวณ

$$\text{COD} = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

เมื่อ

- COD = ปริมาณของสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์โดยโพตัสเซียมไดโครเมต (มิลลิกรัมของ O_2 / ลิตร)
- A = ปริมาตรของ Ferrous ammonium sulfate ที่ใช้ในการไทเตรทแบบลงค์ (มิลลิลิตร)
- B = ปริมาตรของ Ferrous ammonium sulfate ที่ใช้ในการไทเตรทน้ำสกัดกากขี้เป้ง (มิลลิลิตร)
- N = ความเข้มข้นของ Ferrous ammonium sulfate (N)

3.2.8 การหาค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand : APHA, AWWA, and WEF, 1992)

ใช้เทคนิค : Azide Modification Method

การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate Solution)
ละลาย KH_2PO_4 8.5 กรัม , K_2HPO_4 21.75 กรัม , $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 33.4 กรัม และ NH_4Cl 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วทำให้เจือจางเป็น 1000 มิลลิลิตร ซึ่งสารละลายนี้จะมีค่า pH เท่ากับ 7.2
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium sulfate solution)
ละลาย $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นทำให้เจือจางเป็น 1000 มิลลิลิตร
3. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride solution)
ละลาย $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 36.4 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร
4. สารละลายไอรอน (III) คลอไรด์ (Ferric chloride solution)
ละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.25 กรัม แล้วปรับปริมาตร ให้เป็น 1000 มิลลิลิตร
5. สารละลายกรดซัลฟูริก 1 นอร์มัล (Sulfuric acid , 1 N)
ปิเปต $\text{Conc. H}_2\text{SO}_4$ 2.8 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล (Sodium hydroxide solution, 1 N)
ละลาย NaOH 4 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร
7. สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.025 นอร์มัล (Sodium sulphite solution , 0.025 N)
ละลาย Na_2SO_3 1.575 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร
8. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต (Manganous sulfate solution)
ละลาย $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ปริมาณ 480 กรัม ในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร
9. สารละลายอัลคาไล – ไอโอดีน – เอไซด์ (Alkali – Iodide - Azide reagent)
ละลาย NaOH ปริมาณ 500 กรัมและ NaI ปริมาณ 135 กรัมในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร
10. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Sulfuric acid)
11. น้ำแป้ง
ละลาย Soluble starch ปริมาณ 2 กรัมและ Salicylic acid ปริมาณ 0.2 กรัมในน้ำกลั่นที่ร้อนปริมาณ 100 มิลลิลิตร

วิธีทำ

1. การเตรียมน้ำสำหรับเจือจาง
 - 1.1 ตวงน้ำกลั่นให้มีปริมาณมากกว่าที่ใช้ 1 ลิตร ใส่ในขวดที่สะอาด
 - 1.2 ควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากับ 20 ± 1 องศาเซลเซียส
 - 1.3 เป่าอากาศที่สะอาดเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนอย่างน้อย 4 - 6 ชั่วโมง
 - 1.4 เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมคลอไรด์ และเฟริกคลอไรด์ ตามลำดับใช้สารแต่ละชนิด 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร
2. การเตรียมตัวอย่างน้ำ

ตัวอย่างน้ำที่เป็นกรดหรือด่างจะต้องปรับพีเอชให้เป็น 7.0 ด้วย 1 N H_2SO_4 หรือ NaOH
3. วิธีการทำเจือจาง
 - 3.1 กำหนดอัตราการเจือจางน้ำตัวอย่างกากจีแบ่ง 3 สภาวะได้แก่ อัตราการเจือจางที่ 0.1, 0.5 และ 1 และผลของ BOD_5 ที่ได้จากการเจือจางทำให้ออกซิเจนลดลงมากกว่า 2 มิลลิลิตร / ลิตร และมีออกซิเจนเหลืออยู่อย่างน้อย 0.05 มิลลิลิตร / ลิตร จึงจัดว่าเป็นค่าที่เชื่อถือได้ อัตราการเจือจางน้ำที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราการเจือจางน้ำที่เหมาะสม

ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ช่วง BOD_5
0.02	30,000-105,000
0.05	12,000-42,000
0.10	6,000-21,000
0.20	3,000-10,500
0.50	1,200-4,200
1.00	600-2,100
2.00	300-1,050
5.00	120-420
10.00	60-210
20.00	30-105
50.00	12-42
100.00	6-21
300.00	0-7

3.2 ค่อยๆ รินน้ำเจือจางใส่ขวดบีโอดี 3 ขวด ปิดจุกนำไปบ่มในตู้ที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียส 2 ขวด ส่วนอีกขวดที่เหลือนำไปหาค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ทันที จะได้ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่จุดเริ่มต้น (DO_0)

3.3 การหาค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่จุดเริ่มต้น (DO_0) โดยใช้วิธี Azide modification ดังนี้

- เปิดจุกขวดบีโอดีที่มีน้ำเจือจาง เติม $MnSO_4$ 1 มิลลิลิตร ตามด้วย Alkali-Iodide-Azide reagent 1 มิลลิลิตร เติมได้ฟิว่น้ำ
- ปิดจุกเขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน
- เมื่อส่วนใสมากกว่าครึ่งหนึ่งของขวด เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น 1 มิลลิลิตร ปิดจุกและเขย่าให้ตะกอนละลาย
- นำตัวอย่างมา 201 มิลลิลิตร ไตรเตรทด้วย 0.025 N $Na_2S_2O_3$ โดยใช้สีน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเข้มเป็นไม่มีสี

4. การบ่ม (incubation)

บ่มโดยเก็บ 2 ขวดของแต่ละอัตราการเจือจางน้ำตัวอย่างในตู้บ่ม 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันจึงนำออกมาหาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO_5)

การคำนวณ

$$BOD_5 = \frac{(DO_0 - DO_5)}{\text{อัตราการเจือจาง}}$$

เมื่อ

BOD_5 = ปริมาณของออกซิเจนที่ถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) โดยจุลินทรีย์ในช่วงเวลา 5 วัน ภายใต้อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส

DO_0 = ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่จุดเริ่มต้น

DO_5 = ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่การบ่มที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

กากจีเป้งที่ได้จากการผลิตน้ำยางข้นในโรงงานที่ทำการศึกษา ผลิตโดยวิธีการปั่นแยกน้ำยางด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง เพื่อแยกน้ำและสารที่เจือปนอื่นๆ ด้วยแรงโน้มถ่วงไปที่จุดกึ่งกลางของถังปั่น น้ำยางสดจะไหลเข้าทางท่อรับน้ำยางส่วนบนสุดของตัวเครื่อง (2.2 การผลิตน้ำยางข้น, รูปที่ 2.7) ระดับของน้ำยางจะควบคุมให้คงที่โดยถูกลอยปรับระดับ แรงปั่นของเครื่องจะปั่นให้น้ำยางไหลไปตามรูของชุดของจานแยก น้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ หางน้ำยาง ซึ่งจะไหลออกสู่รอบนอกของถังปั่นทางด้านบนของถังผ่านสกรูปรับสู่ที่เก็บแยกหางน้ำยาง และส่วนที่สองคือ น้ำยางข้นซึ่งมีอนุภาคของยางมาก จะไหลเข้าสู่กลางถังปั่นไปยังด้านบนถึงเข้าสู่ที่เก็บ ปกติน้ำยางข้นที่ได้จากเครื่องปั่นจะมีความเข้มข้นประมาณ 60 % ของเนื้อยางแห้ง ในโรงงานผลิตน้ำยางข้นมีกากจีเป้งซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ตรงบริเวณถังปั่นและถังพักน้ำยางซึ่งจะตกตะกอนโลหะแมกนีเซียมก่อนนำน้ำยางมาปั่น โดยทั่วไปแล้วโรงงานต่างๆ จะกำจัดทิ้งโดยใช้วิธีการนำกากจีเป้งไปถมที่ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การกำจัดกากจีเป้งโดยวิธีการนำไปถมที่

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของกากจีเป้ง จะเห็นว่า การนำไปถมที่เป็นวิธีที่ประหยัด ได้พื้นที่ดินไปทำประโยชน์อื่น ง่ายต่อการดำเนินงาน สามารถใช้ได้ทั้งระยะสั้นและระยะยาว แต่จะมีข้อเสียก็คือ หาสถานที่ยากเพราะไม่มีชุมชนใดต้องการให้อยู่ใกล้

และก่อนที่จะนำไปถมที่ต้องมีการตรวจสอบกากจีเป้งว่ามีความปลอดภัยจากสารเคมีที่อาจเป็นอันตรายต่อดินและสิ่งมีชีวิตบริเวณนั้น

การนำกากจีเป้งมาแปรสภาพกลายเป็นปุ๋ยเหลวนั้น เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าแก่โรงงาน เพราะหากนำกากจีเป้งมาถมที่นอกจากไม่ทำให้เกิดมูลค่าใดๆ แล้วยังเป็นการสูญเสียพลังงานในการขนย้ายกากจีเป้งจากโรงงานไปยังพื้นที่ที่ใช้สำหรับนำกากจีเป้งมาถม

กากจีเป้งที่นำมาศึกษา ได้จากส่วนของถังปั่นน้ำยางที่ได้ทำการเดินเครื่องเพื่อเซนตริฟิวส์น้ำยางสดให้กลายเป็นน้ำยางข้น โดยทำการศึกษากากจีเป้งดังกล่าวข้อดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะและสมบัติของกากจีเป้งจากโรงงานน้ำยางข้น

ลักษณะทางกายภาพของกากจีเป้งที่ได้จากตัวแทนโรงงานน้ำยางข้น 3 แห่งในเขตพื้นที่จังหวัดสงขลาและปัตตานี คือ บริษัท อารวอุตสาหกรรม จำกัด บริษัท ฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัด และบริษัท ปัตตานีอุตสาหกรรม จำกัด โดยเก็บตัวอย่างกากจีเป้งในโรงงานจากบริเวณจุดเกิดกากจีเป้ง คือ ถังปั่นน้ำยาง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 เครื่องเซนตริฟิวส์น้ำยางข้น



รูปที่ 4.3 ลักษณะกากจีแป้งสดบริเวณถังปั่นหลังทำการเซนตริฟิวส์น้ำยางสด

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นว่า หลังจากทำการปั่นน้ำยางสดเพื่อให้ได้น้ำยางข้น กากจีแป้งสดที่อยู่บริเวณก้นถังปั่นจะมีลักษณะคล้ายกับโคลนตม สีขาวเทา เนื้อละเอียด ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และ จีเถ้า (Blackley, 1997) อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกากจีแป้งที่ได้หลังการปั่นจะมีค่าประมาณ 35.0 ± 0.5 องศาเซลเซียส เมื่อนำตัวอย่างกากจีแป้งสดส่วนหนึ่งมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิทแล้วนำมาบดเป็นผงละเอียดดังรูปที่ 4.4 มีลักษณะเป็นผงสีเทา ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโลหะหนักที่เหลือหลังอบ โดยได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีในหัวข้อ 4.1.2 ต่อไป



รูปที่ 4.4 ลักษณะกากจีแป้งอบแห้งหลังการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส บดเป็นผงละเอียด

4.1.1 กากจีแป้งสด

นำกากจีแป้งสดมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้น โดยจะนำกากจีแป้งสดมาละลายน้ำในอัตราส่วนกากจีแป้งสด 1 กรัมต่อน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่า pH ส่วนค่าความหนาแน่นหาได้โดยนำน้ำกลั่นมาใส่ลงในปิเกตอร์ทำเครื่องหมายบอกระดับน้ำไว้ จากนั้นนำกากจีแป้ง 10 กรัมใส่ลงไป แล้ววัดปริมาตรของน้ำที่เลยเครื่องหมายระดับน้ำ แล้วทำการคำนวณหาค่าความหนาแน่น ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ความชื้น ของแข็งที่คงอยู่และของแข็งที่ระเหยได้ของกากจีแป้ง จะทำการศึกษาโดยการนำกากจีแป้งมาจำนวนหนึ่งที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปอบจนน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักที่ได้ แล้วนำไปเผาต่อที่อุณหภูมิ 550 ± 50 องศาเซลเซียส บันทึกน้ำหนักกากจีแป้งที่ได้หลังการเผา จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าต่างๆ ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของกากจีแป้งสดของแต่ละโรงงาน

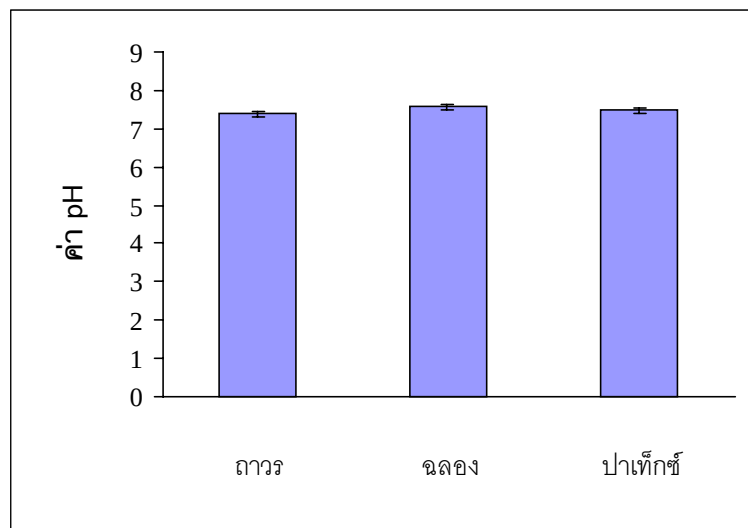
สมบัติ	ถาวร	ฉลอม	ปาเท็กซ์	ค่าพิสัย
- ความเป็นกรด - ด่าง (pH)	7.38 ± 0.02	7.57 ± 0.02	7.74 ± 0.07	7.38 – 7.74
- ความหนาแน่น, กรัม / มิลลิลิตร	1.16 ± 0.08	1.19 ± 0.04	1.63 ± 0.16	1.16 – 1.63
- ของแข็งทั้งหมด (TSC), %	58.05 ± 2.42	61.36 ± 3.53	62.96 ± 0.73	58.05 – 62.96
- ความชื้น (MC), %	41.95 ± 2.42	38.65 ± 3.53	37.05 ± 0.73	37.05 – 41.95
- ของแข็งที่ระเหยได้ (VS), %	42.01 ± 4.91	46.69 ± 5.46	46.38 ± 1.58	42.01 – 46.69
- ของแข็งที่คงอยู่ (FS), %	16.04 ± 4.91	14.67 ± 5.46	16.58 ± 1.58	14.67 – 16.58

หมายเหตุ : ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสด

4.1.1.1 ค่า pH

กากจีแป้งที่นำมาศึกษาค่า pH หลังจากทำการเก็บมาแล้วประมาณ 5 – 6 ชั่วโมง ทำให้แอมโมเนียบางส่วนเกิดการระเหยออกไป ค่า pH ของแต่ละโรงงานได้แก่ บริษัท ถาวรอุตสาหกรรม จำกัด, บริษัท ฉลอมอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัด และ บริษัท ปัตตานีอุตสาหกรรม จำกัด จะมีค่า pH แตกต่างกันน้อยมาก ก็จะมีค่าระหว่าง 7.38 – 7.74 ดังตารางที่ 4.1 แล รูปที่ 4.5 ค่า pH

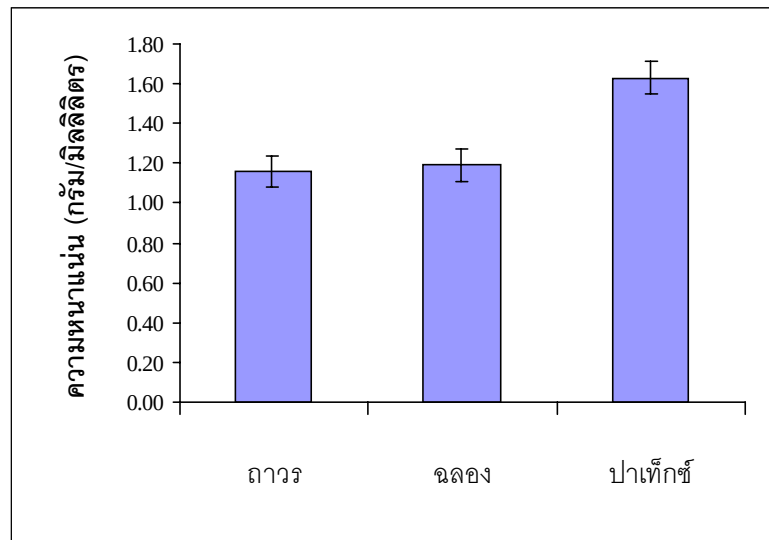
ที่ได้บ่งบอกว่ากากจีแป้งที่ได้จากแต่ละโรงงานมีสภาพที่ค่อนข้างเป็นกลาง โดยในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีการเติมแอมโมเนียลงไปให้น้ำยางสด หลังจากนั้นทำการปล่อยน้ำยางเข้าทางท่อรับน้ำยางส่วนบนสุดของตัวเครื่องปั่นแยกน้ำยาง เครื่องจะทำการปั่นแยกน้ำยางได้น้ำยางข้น หางน้ำยางและกากจีแป้ง ในขณะทำการปั่นแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำยางจะถูกแยกไปอยู่ในส่วนของน้ำยางข้นและหางน้ำยาง ทำให้ปริมาณของแอมโมเนียที่มีอยู่ในกากจีแป้งมีน้อย เมื่อนำมาวัดค่า pH ในกากจีแป้งจึงได้ค่าที่ค่อนข้างจะเป็นกลาง



รูปที่ 4.5 ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของกากจีแป้งของโรงงานต่างๆ

4.1.1.2 ความหนาแน่น (Density)

น้ำยางสดโดยทั่วไปมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.975 - 0.980 กรัม / มิลลิลิตร อนุภาคยางมีความหนาแน่น 0.92 กรัม / มิลลิลิตร (เสาวนีย์, 2543) และมีสิ่งเจือปนอื่นที่มีความหนาแน่นมากกว่าซึ่งเรียกว่ากากจีแป้ง เมื่อทำการเซนตริฟิวส์ด้วยความเร็ว 20000 รอบ / นาที ทำให้สามารถแยกส่วนของอนุภาคยาง เซรุ่มและกากจีแป้งออกจากกัน จะเห็นว่า ค่าความหนาแน่นของกากจีแป้งที่เก็บจากทั้ง 3 โรงงานมีค่าระหว่าง 1.16 – 1.63 กรัม / มิลลิลิตร ดังตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำยาง ได้แก่ เรซิน โลหะหนัก แป้ง โปรตีน ไขมัน และสารเคมีที่เติมลงไปก่อนนำน้ำยางมาผลิตเป็นน้ำยางข้น เช่นมีการเติม NH_3 , TMTD และ ZnO เพื่อเก็บรักษาน้ำยาง และมีการเติม DAHP ลงไปเพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียม ดังนั้นเมื่อทำการปั่นน้ำยางส่วนประกอบของกากจีแป้งจะมีลักษณะเป็นโคลนตมสีเหลืองหรือสีขาวเทา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารพวกแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และ ซิลิกา ทำให้กากจีแป้งมีความหนาแน่นที่สูงกว่าน้ำยางประมาณ 18.97 – 66.33 %

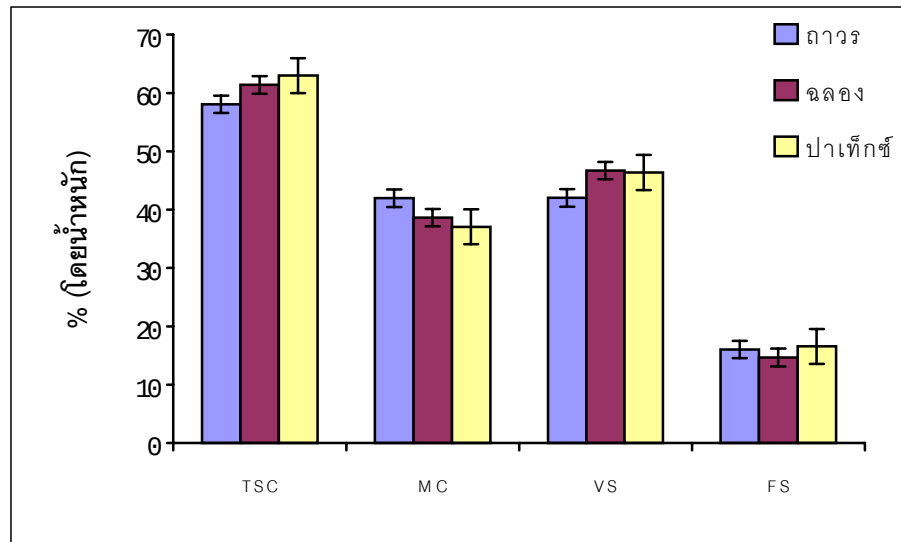


รูปที่ 4.6 ค่าความหนาแน่นของกากซีเมนต์ของโรงงานต่าง ๆ

4.1.1.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) และปริมาณความชื้น (MC)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของกากซีเมนต์ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากการเติม DAHP (diammonium hydrogen phosphate) เพื่อตกตะกอน โคมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยาง โดย DAHP (diammonium hydrogen phosphate) จะทำปฏิกิริยากับ แมกนีเซียมกลายเป็น Magnesium ammonium phosphate ตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยาง ตรงบริเวณถังพักน้ำยาง เมื่อนำน้ำยางสดมาเซนตริฟิวส์ด้วยถังปั่น ตะกอนที่เหลืออยู่จะรวมอยู่ในส่วนของกากซีเมนต์ นอกจากนี้ยังมีสารพวกโปรตีน คาร์โบไฮเดรต แป้ง น้ำตาลและส่วนประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ในน้ำยาง (เสาวนีย์, 2543) ส่วนของลูทอยด์ในน้ำยางที่บวมแล้วเกิดการแตกของเหลวภายในซึ่งเป็นสารแขวนลอยที่มีประจุบวกและไอออนของโลหะ เช่น แคลเซียมไอออน และแมกนีเซียมไอออนจะกระจายอยู่ในน้ำยาง ส่วนผนังชั้นเดียวที่เป็นเยื่อบางของลูทอยด์ที่แตกออกมีรูปร่างไม่แน่นอน จะเกิดจากการจับตัวกันเองเป็นก้อนติดอยู่บนผิวนอกของอนุภาคยางทำให้อนุภาคยางเกิดการสูญเสียความเสถียรได้ง่าย แยกตัวออกจากเนื้อยางและเกาะรวมกันอยู่ด้านล่างซึ่งเป็นส่วนของกากซีเมนต์สามารถแยกออกได้เมื่อเซนตริฟิวส์ สำหรับอนุภาคเฟรย์ - วิสลิงซึ่งเป็นสารไม่ใช่ยางมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายาง แต่ความหนาแน่นน้อยกว่า มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้นมีปริมาณไม่มากนักประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาโรตีนอยด์ (Blackley, 1997) สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรุ่ม เมื่อทำการปั่นก็สามารถแยกออกมาอยู่ในส่วนของกากซีเมนต์ ส่วนปริมาณของความชื้นที่มีอยู่ในกากซีเมนต์ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยส่วนของน้ำและแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในกากซีเมนต์หลังการเซนตริฟิวส์ จาก

ตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.7 จะเห็นว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดของทั้ง 3 โรงงานมีค่าระหว่าง 58.05 – 62.96 % โดยน้ำหนัก และความชื้นประมาณ 37.05 – 41.95 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.7 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC), ความชื้น (MC), ของแข็งที่คงอยู่ (FS) และของแข็งที่ระเหยได้ (VS) ของกากชี้เป้งของโรงงานต่าง ๆ

4.1.1.4 ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ (FS) และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (VS)

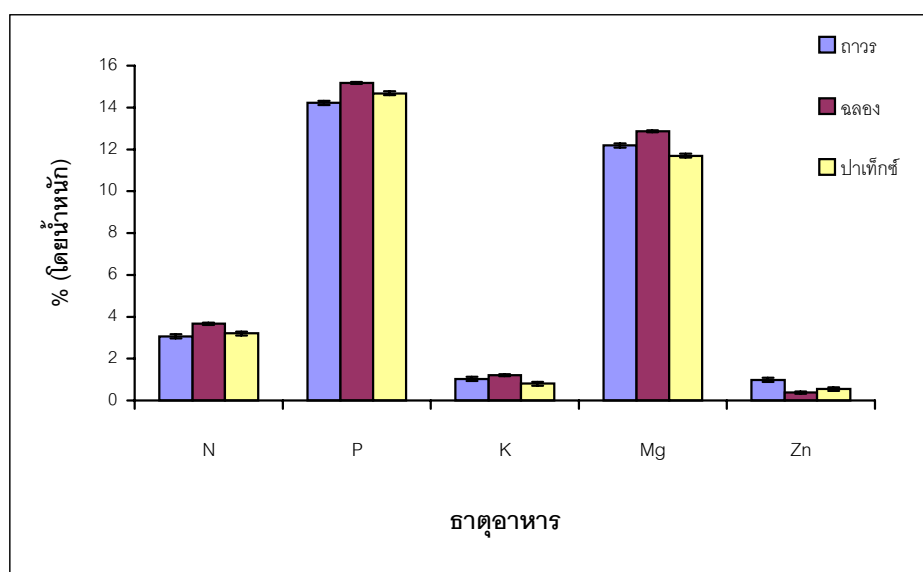
ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ส่วนใหญ่ในกากชี้เป้งประกอบไปด้วยสารพวกคาร์บอนและพวกโลหะหนักที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิ 550 ± 50 องศาเซลเซียส ส่วนพวกสารอินทรีย์อื่นๆที่มีอยู่ในกากชี้เป้งจะเกิดการระเหยกลายเป็นแก๊สซึ่งส่วนนี้คือปริมาณของที่ระเหยได้ (คู่มือการวิเคราะห์น้ำเสีย, 2540) จากตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.7 จะเห็นว่า กากชี้เป้งทั้ง 3 โรงงาน ได้แก่ บริษัท ถาวรอุตสาหกรรม จำกัด, บริษัท จลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัด และ บริษัท ปัตตานีอุตสาหกรรม จำกัด มีค่าของแข็งที่คงอยู่ระหว่าง 14.67 – 16.58 % โดยน้ำหนัก และของแข็งที่ระเหยได้มีค่าระหว่าง 42.01 – 46.69 % โดยน้ำหนัก

4.1.2 กากจี๋แป้งอบแห้ง

นำกากจี๋แป้งมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24 – 48 ชั่วโมง เพื่อเอาน้ำ เสรุ่ม และแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในกากจี๋แป้งออก บดกากจี๋แป้งอบแห้งให้เป็นผงละเอียด จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเพื่อหาปริมาณธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในกากจี๋แป้งอบแห้ง ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสีและแคลเซียม ได้ผลดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของกากจี๋แป้งอบแห้งของโรงงานต่างๆ

สมบัติ (% โดยน้ำหนัก)	ถาวร	ฉลอง	ปาเท็กซ์	ค่าพิสัย
- ไนโตรเจน (N)	3.07 ± 0.01	3.65 ± 0.01	3.20 ± 0.01	3.07 – 3.65
- ฟอสฟอรัส (P)	14.22 ± 0.99	15.17 ± 0.03	14.68 ± 0.12	14.22 – 15.17
- โพแทสเซียม (K)	1.04 ± 0.14	1.20 ± 0.19	0.79 ± 0.27	0.79 – 1.20
- โลหะหนัก				
- แมกนีเซียม (Mg)	12.18 ± 1.90	12.86 ± 3.36	11.69 ± 0.28	11.69 – 12.86
- สังกะสี (Zn)	0.98 ± 0.01	0.37 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.37 – 0.98
- แคลเซียม (Ca)	0.02 ± 0.01	0.06 ± 0.03	0.01 ± 0.01	0.01- 0.06



รูปที่ 4.8 ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ของกากจี๋แป้งอบแห้ง

4.1.2.1 ไนโตรเจน (Total Nitrogen)

ปริมาณไนโตรเจนในกากจีเป้งอบแห้งส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนของโปรตีนบนอนุภาคของยางที่สลายตัวออกมาและเป็นส่วนของผนังลูทอยด์ซึ่งเกาะบนอนุภาคยางแล้วทำให้อนุภาคยางเกิดการสูญเสียสภาพจับตัวเป็นก้อน เมื่อทำการเซนตริฟิวส์จึงรวมตัวอยู่ในส่วนของกากจีเป้ง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนในกากจีเป้ง สำหรับสารละลายแอมโมเนียที่เติมลงไปใต้น้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยางนั้น จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอในระหว่างการนำกากจีเป้งไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะไม่เหลืออยู่ในส่วนของกากจีเป้งที่ทดสอบ จากตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.8 จะเห็นว่า กากจีเป้งอบแห้งมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 3.07 – 3.65 % โดยน้ำหนัก

4.1.2.2 ฟอสฟอรัส (Total Phosphorus)

ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ได้มาจากการเติม DAHP (diammonium hydrogen phosphate) เพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางสด จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.8 พบว่าในกากจีเป้งจะมีธาตุฟอสฟอรัสประมาณ 14.22 – 15.17 % โดยน้ำหนัก

4.1.2.3 โพแทสเซียม (Total potassium)

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.8 พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่มีอยู่ในกากจีเป้งมีประมาณ 0.79 – 1.20 % โดยน้ำหนัก โดยปริมาณของโพแทสเซียมที่มีอยู่ในกากจีเป้งคาดว่าได้จากอนุภาคยางและขี้ผึ้งที่เหลือจากการเซนตริฟิวส์ และจากแร่ธาตุที่คั่งค้างพาราควอตซึมมาจากดิน

4.1.2.4 โลหะหนักอื่นๆ

น้ำยางสดจากสวนก่อนนำมาผลิตเป็นน้ำยางข้น จะมีการเติม DAHP (diammonium hydrogen phosphate) ที่ใส่ลงไปใต้น้ำยางสด เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยาง โดย DAHP (diammonium hydrogen phosphate) จะทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ Magnesium ammonium phosphate สารนี้จะตกตะกอนหรือถูกแยกออกจากน้ำยาง โดยปริมาณแมกนีเซียมที่อยู่ในกากจีเป้ง คาดว่าเป็นส่วนของตะกอนที่เหลืออยู่ในน้ำยางสดที่ทำการตกตะกอนแมกนีเซียมออกไปแล้ว เมื่อเซนตริฟิวส์ด้วยถังปั่น แมกนีเซียมที่เหลืออยู่ก็จะรวมอยู่ในส่วนของกากจีเป้ง จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.8 พบว่าในกากจีเป้งมีธาตุแมกนีเซียมโดยเฉลี่ยประมาณ 11.69 – 12.86 % โดยน้ำหนัก

นอกจากนี้กากจีเป้งยังมีธาตุอื่นๆ อีกได้แก่ สังกะสีและแคลเซียม มีค่าประมาณ 0.37 – 0.98 และ 0.01 – 0.06 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยปริมาณของสังกะสีได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีการเติมซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้เป็นสาร

กระตุ้นและเก็บรักษาน้ำยางจึงทำให้มีธาตุสังกะสีในกากจีแป้ง และแคลเซียมได้จากลูทอยด์ โดยในสภาพอากาศร้อนอุณหภูมิสูงขึ้น ลูทอยด์จะเกิดการแตกทำให้ของเหลวที่อยู่ภายในลูทอยด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นสารแขวนลอยเกิดการไหลและปะปนรวมอยู่ในเซรุ่มเมื่อเซนตริฟิวส์สารแขวนลอย จะประกอบไปด้วยประจุบวกและอออนของโลหะ เช่น แคลเซียมอออนและแมกนีเซียมอออน พวกโลหะหนักเหล่านี้ก็จะรวมอยู่ที่ก้นถึงกลายเป็นกากจีแป้งสามารถแยกออกมาได้ แต่ปริมาณของ แคลเซียมที่พบในกากจีแป้งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าของธาตุตัวอื่นๆ

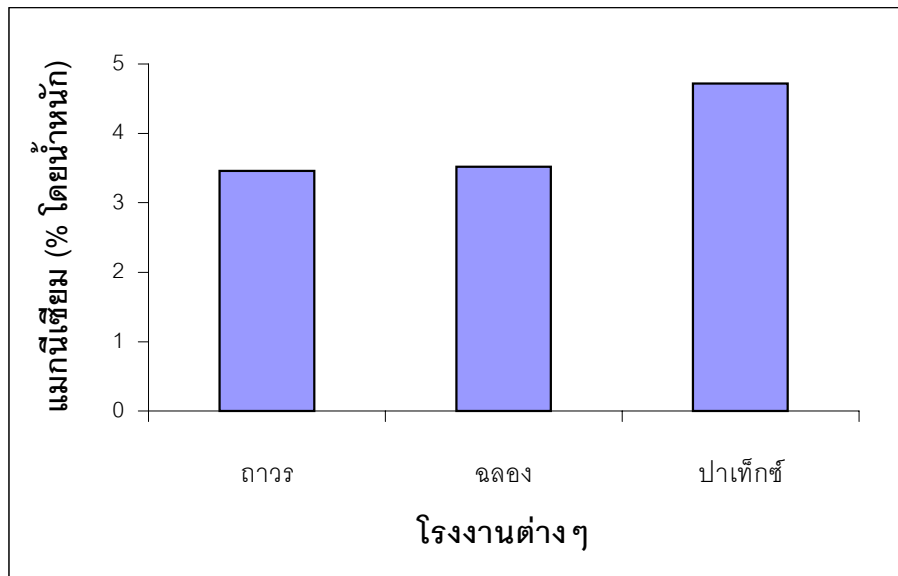
ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและโลหะหนักในกากจีแป้งที่ได้มีค่าแตกต่างกัน อาจ เนื่องจากความแตกต่างในส่วนของการผลิต ปริมาณสารเคมี สารเคมีพวก DAHP ซึ่งใส่ ลงไปในน้ำยางและบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง ทำให้ค่าที่ได้ต่างกัน

4.1.3 ความสามารถในการละลายน้ำของธาตุต่างๆ ของกากจีแป้ง

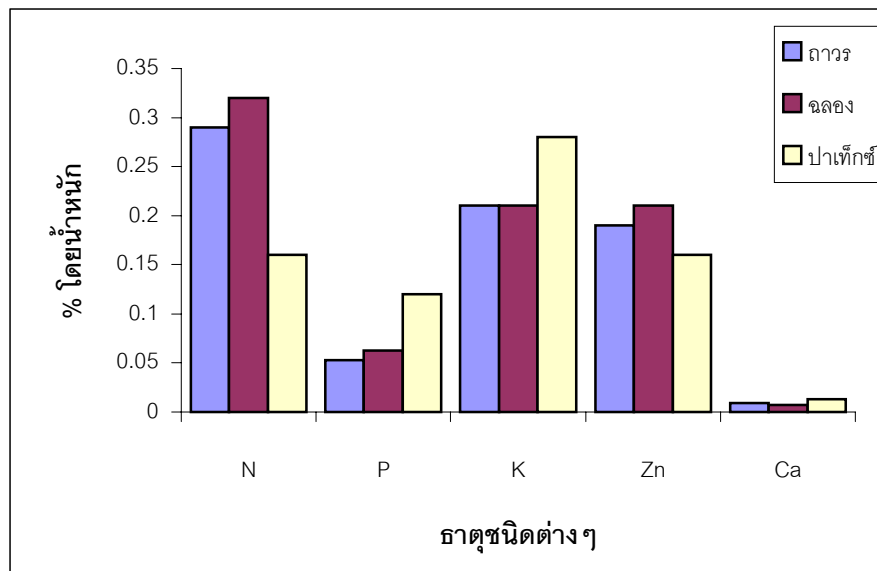
จากการเตรียมน้ำสกัดกากจีแป้ง โดยนำกากจีแป้งที่ได้จากโรงงานน้ำยางชั้นประมาณ 10 กรัมละลายในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ ที่ละลายในน้ำ เพื่อ ทดสอบศักยภาพของกากจีแป้งที่นำมาทำเป็นปุ๋ยเหลวว่าต้นไม้จะสามารถจะดูดซึมแร่ธาตุที่อยู่ในกากจี แป้งได้มากน้อยเพียงใด ถ้ากากจีแป้งสามารถละลายน้ำออกมาได้มากแสดงว่าต้นไม้สามารถจะ ดูดซึมได้มาก ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.3 ปริมาณธาตุชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำสกัดกากจีแป้ง

ปริมาณธาตุชนิดต่างๆ (%)	ถาวร	ละลาย	ปาเท็กซ์	ค่าพิสัย
- ไนโตรเจน (N)	0.29 ± 0.01	0.32 ± 0.06	0.16 ± 0.06	0.16 – 0.32
- ฟอสฟอรัส (P)	$0.05 \pm .01$	0.06 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.053 – 0.12
- โพแทสเซียม (K)	$0.21 \pm .02$	0.21 ± 0.24	0.28 ± 0.31	0.21 – 0.28
- โลหะหนัก				
- แมกนีเซียม (Mg)	3.46 ± 0.07	3.52 ± 0.03	4.72 ± 1.17	3.46 – 4.72
- สังกะสี (Zn)	0.19 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.16 ± 0.01	0.12 – 0.19
- แคลเซียม (Ca)	0.009 ± 0.000	0.007 ± 0.002	0.013 ± 0.002	0.007 – 0.013



รูปที่ 4.9 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำสกัดกากจีแป้งของโรงงานต่างๆ



รูปที่ 4.10 ปริมาณธาตุต่างๆ ของน้ำสกัดกากจีแป้งของโรงงานต่างๆ

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.9 และ 4.10 จะเห็นว่า เมื่อนำกากจีเป้งมาละลายน้ำแล้วนำน้ำที่ได้มาวิเคราะห์พบว่า ปริมาณไนโตรเจนมีค่าระหว่าง 0.16–0.32 % โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่ละลายออกมาจากกากจีเป้งส่วนใหญ่เป็นไนโตรเจนที่ได้จากอนุภาคยาง เซรุ่มและดูทอยด์ที่เหลืออยู่ในกากจีเป้งหลังการเซนตริฟิวส์ และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนในกากจีเป้งอบแห้งในตารางที่ 4.2 จะเห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนที่ละลายออกมาในน้ำมีค่าน้อยมาก แสดงว่า ไนโตรเจนในกากจีเป้งส่วนใหญ่เป็นไนโตรเจนชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้เมื่อทดสอบหาปริมาณไนโตรเจนในน้ำสกัดจึงได้ค่าน้อย ส่วนฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียมจะละลายออกมามีค่าระหว่าง 0.053–0.12, 0.21–0.28, 3.46–4.72, 0.12–0.19 และ 0.007–0.013 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนใหญ่ธาตุเหล่านี้จะได้รับการเติมสารเคมีลงไปในการผลิตในระหว่างกระบวนการผลิต เช่น NH_3 , TMTD, ZnO และ DAHP โดยจะให้เห็นว่า เมื่อนำกากจีเป้งมาใช้เป็นปุ๋ย ธาตุที่พืชสามารถดูดซึมได้จะเป็นธาตุที่สามารถละลายน้ำได้มากที่สุดคือ แมกนีเซียม รองลงมาคือ ไนโตรเจน โพแทสเซียม สังกะสี ฟอสฟอรัส และแคลเซียม ตามลำดับ จะเห็นว่า ฟอสฟอรัสจะมีความสามารถในการละลายน้ำน้อยมาก แม้ว่าจะมีปริมาณมากในกากจีเป้ง

4.1.4 ค่า BOD และ COD ของน้ำที่ได้จากการละลายกากจีเป้ง

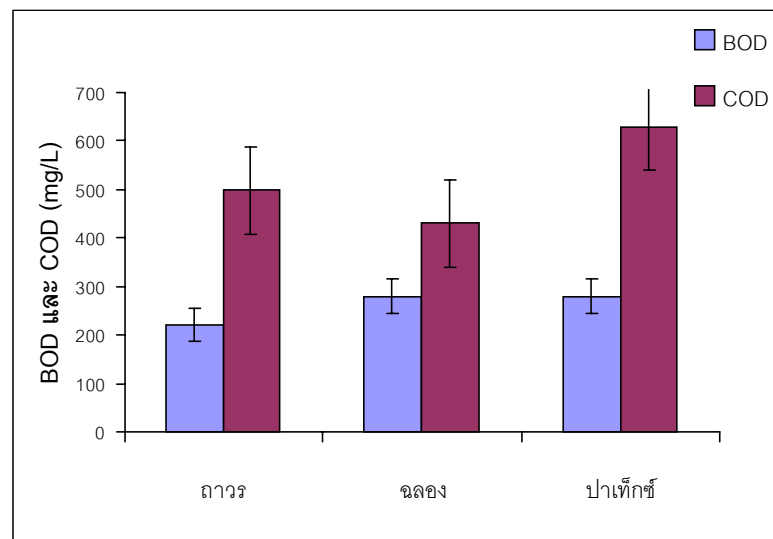
นำน้ำที่ได้จากการนำกากจีเป้งในน้ำกลั่นในอัตราส่วนกากจีเป้ง 1 กรัมต่อน้ำ 70 มิลลิลิตร พบว่าเมื่อนำมาทดสอบค่า BOD และ ค่า COD ได้ผลดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.4 ค่า BOD และ COD ของน้ำสกัดกากจีเป้ง

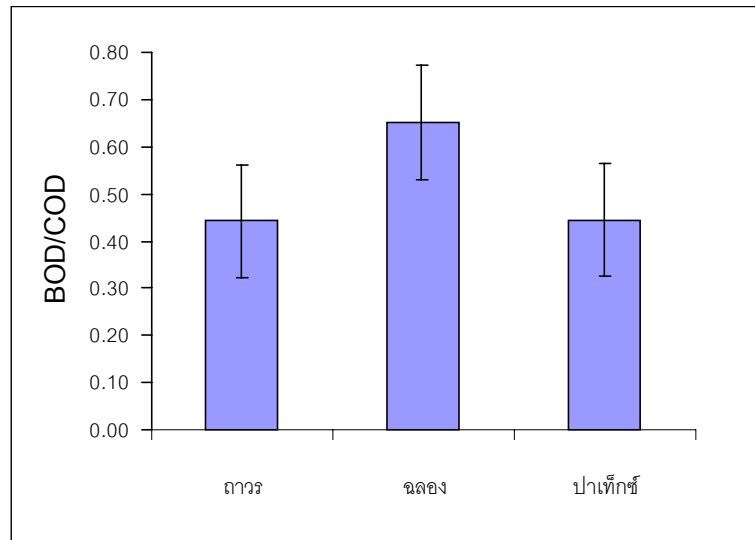
โรงงาน	ค่า BOD (มิลลิกรัม / ลิตร)	ค่า COD (มิลลิกรัม / ลิตร)	อัตราส่วน BOD / COD
ถาวร	220.00 ± 28.28	498.00 ± 2.83	0.44
ฉลอง	280.00 ± 56.57	430.00 ± 8.49	0.65
ป่าเท็กซ์	280.00 ± 0.01	630.00 ± 2.83	0.44
เฉลี่ย	260.00 ± 34.64	515 ± 101.69	0.51 ± 0.12

หมายเหตุ : BOD_5 (Biochemical Oxygen Demand) คือ ค่าปริมาณของออกซิเจนที่ถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) โดยจุลินทรีย์ในช่วงเวลา 5 วัน ภายใต้อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.11 พบว่า ค่า BOD และค่า COD จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 260.00 ± 34.64 และ 515 ± 101.69 มิลลิกรัม / ลิตร ค่า BOD ของทั้ง 3 โรงงานจะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่า COD พบว่า โรงงานปาเท็กซ์จะมีค่าสูงกว่าโรงงานอื่นๆ อาจเนื่องมาจากในกระบวนการผลิตของโรงงานปาเท็กซ์อาจมีการใส่สารเคมีมากกว่าโรงงานอื่นๆ เช่น NH_3 , TMTD, ZnO และ DAHP ทำให้มีปริมาณของสารเคมีในกากขี้แป้งสูง เมื่อนำมาหาค่า COD จึงทำให้ได้ค่าที่สูงกว่าโรงงานอื่น และจากรูปที่ 4.12 พบว่าอัตราส่วนระหว่างมีค่า BOD / COD มีค่าเท่ากับ 0.5 โดยทั่วไปแล้วอัตราส่วน BOD / COD ของน้ำเสียชุมชนจะอยู่ระหว่าง 0.30 - 0.80 สำหรับน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัด หากอัตราส่วน BOD / COD มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 น้ำเสียดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะสามารถรับการบำบัดอย่างได้ผลดีโดยวิธีทางชีวภาพ แต่ถ้าอัตราส่วน BOD / COD ต่ำกว่า 0.3 อาจจะใช้วิธีการบำบัดทางชีวภาพไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร อาจกลายเป็น้ำเสียได้ (คู่อรวิเคราะห์น้ำเสีย, 2540) ส่วนน้ำสกัดกากขี้แป้งมีค่าอัตราส่วน BOD / COD ประมาณ 0.51 ± 0.12 แสดงว่าสามารถบำบัดได้โดยวิธีทางชีวภาพ ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 4.11 ค่า BOD และ COD ของน้ำที่ได้จากการละลายกากขี้แป้งในน้ำของโรงงานต่างๆ



รูปที่ 4.12 ค่า BOD / COD ของน้ำที่ได้จากการละลายกากชีปะ่งในน้ำกลั่นของโรงงานต่างๆ

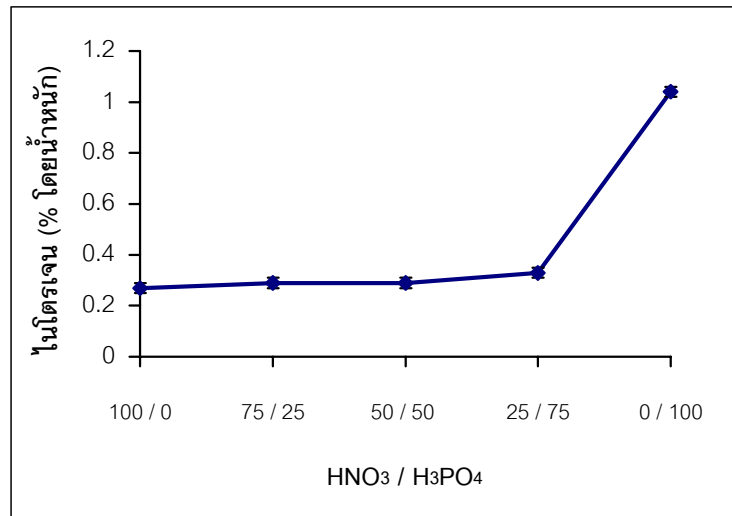
4.2 ปุ๋ยเหลว

4.2.1 ความสามารถในการย่อยแ่งเหลว

นำกากชีปะ่งเหลวที่ย่อยด้วยกรดผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นและกรดฟอสฟอริกเข้มข้นที่อัตราส่วนโดยปริมาตร 100 : 0 , 75 : 25 , 50 : 50, 25 : 75 และ 0 : 100 มาทดสอบหาปริมาณธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในกากชีปะ่งเหลวตามวิธีการในหัวข้อ 3.2 ได้ผลดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 ปริมาณไนโตรเจนของกากชีปะ่งเหลวที่ย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นและกรดฟอสฟอริกเข้มข้นที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน $\text{HNO}_3 : \text{H}_3\text{PO}_4$	ไนโตรเจน (% โดยน้ำหนัก)
100 : 0	0.27 ± 0.06
75 : 25	0.29 ± 0.01
50 : 50	0.29 ± 0.01
25 : 75	0.33 ± 0.03
0 : 100	0.04 ± 0.04



รูปที่ 4.13 ปริมาณไนโตรเจนของกากชี้เป้งเหลวที่ย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นและกรดฟอสฟอริกเข้มข้นที่อัตราส่วนต่างๆ

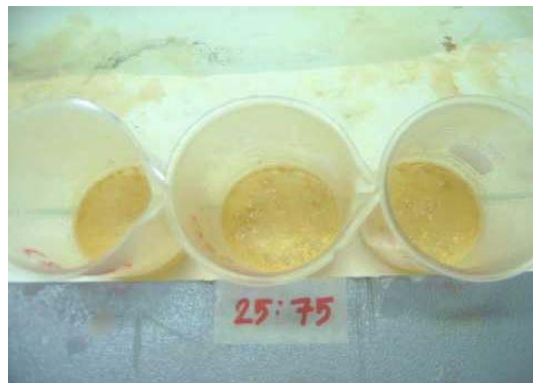
จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.13 จะเห็นว่า กากชี้เป้งที่ย่อยด้วยกรดไนตริกมีปริมาณไนโตรเจนประมาณ 0.27 % โดยน้ำหนัก เมื่ออัตราส่วนของกรดฟอสฟอริกมากกว่ากรดไนตริก ปริมาณของไนโตรเจนที่มีอยู่ในกากชี้เป้งเหลวมีค่าสูงขึ้น นั่นคืออัตราส่วนกรดไนตริกเข้มข้นต่อกรดฟอสฟอริกเข้มข้นที่ 75 : 25, 50 : 50, 25 : 75 โดยปริมาตร มีค่าไนโตรเจนประมาณ 0.29, 0.29 และ 0.33 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อย่อยกากชี้เป้งด้วยกรดฟอสฟอริกจะมีปริมาณไนโตรเจนประมาณ 1.04 % โดยน้ำหนัก เนื่องจากกรดฟอสฟอริกที่ใส่ลงไปจะทำให้ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในกากชี้เป้งเกิดการละลายออกมา โดยธาตุต่างๆ ที่ละลายออกมาไม่เกิดการสูญเสียสภาพ ยังมีปริมาณของกรดฟอสฟอริกเพิ่มมากขึ้นปริมาณไนโตรเจนก็จะละลายมากขึ้นไปด้วย กรดไนตริกมีความสามารถในการละลายกากชี้เป้งรุนแรงกว่ากรดฟอสฟอริกเข้มข้นเพราะมีฤทธิ์ความเป็นกรดมากกว่ากรดฟอสฟอริก เมื่อหยดกรดไนตริกเข้มข้นลงบนกากชี้เป้งจะทำปฏิกิริยากับกากชี้เป้งอย่างรุนแรงเกิดควันขึ้นเล็กน้อย กากชี้เป้งจะเกิดการสลายตัวสูญเสียสภาพ จึงทำให้เมื่อนำมาทดสอบหาปริมาณไนโตรเจนในกากชี้เป้งเหลวจึงมีค่าน้อย แต่เมื่อหยดกรดฟอสฟอริกลงบนกากชี้เป้งจะไม่เกิดควัน แต่เนื้อของกากชี้เป้งจะเกิดการเปื่อยยุ่ยละลายออกมากลายเป็นกากชี้เป้งเหลวดังแสดงในหัวข้อ 4.2.2 และได้ค่าไนโตรเจนที่สูงประมาณ 1.04 % โดยน้ำหนัก

4.2.2 ลักษณะของกากจีแป้งเหลว

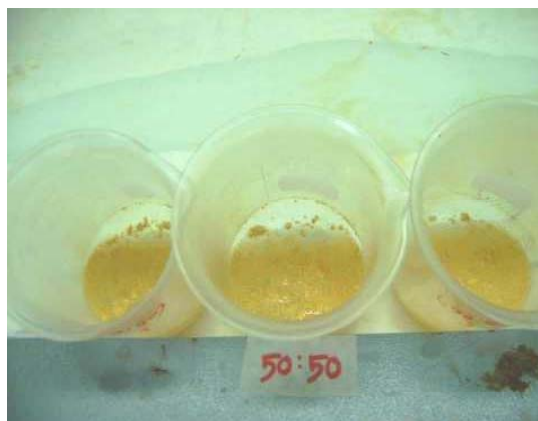
จากการทดลองนำกากจีแป้งสดมาย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นและกรดฟอสฟอริกเข้มข้นที่อัตราส่วน 100 : 0 , 75 : 25 , 50 : 50 , 25 : 75 และ 0 : 100 โดยปริมาตร ได้ลักษณะกากจีแป้งเหลวดังรูปที่ 4.14 ถึง 4.18



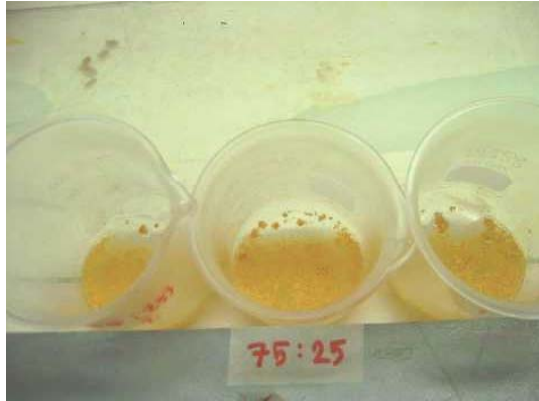
รูปที่ 4.14 ลักษณะกากจีแป้งเหลวที่ย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น



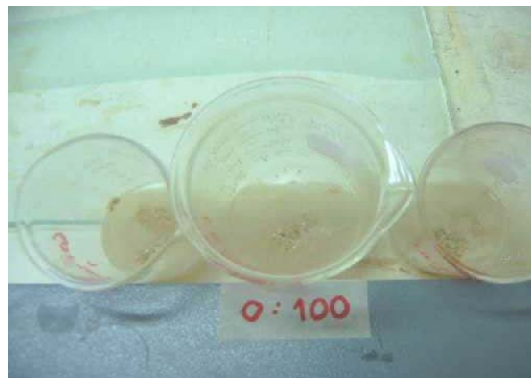
รูปที่ 4.15 ลักษณะกากจีแป้งเหลวที่ย่อยด้วยกรดไนตริกต่อกรดฟอสฟอริกเท่ากับ 25:75



รูปที่ 4.16 ลักษณะกากจีแป้งเหลวที่ย่อยด้วยกรดไนตริกต่อกรดฟอสฟอริกเท่ากับ 50 : 50



รูปที่ 4.17 ลักษณะกากจี๋แป้งเหลืองที่ย่อยด้วยกรดไนตริกต่อกรดฟอสฟอริกเท่ากับ 75 : 25



รูปที่ 4.18 ลักษณะกากจี๋แป้งเหลืองที่ได้จากการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น

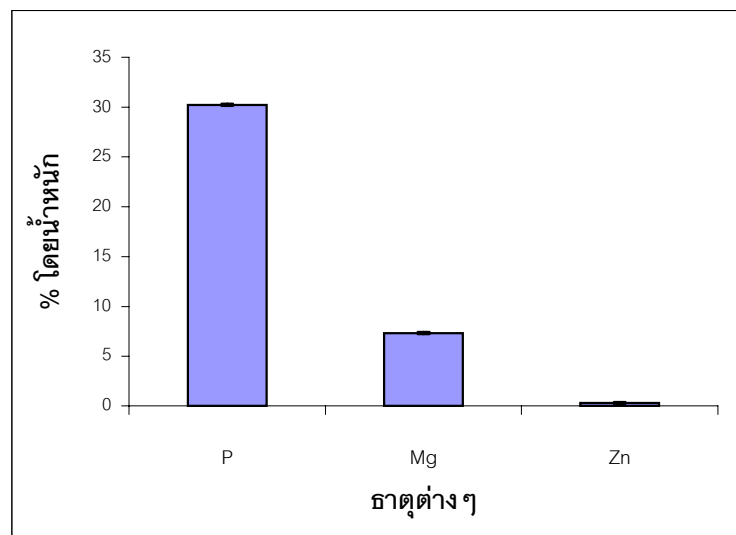
จากรูปที่ 4.14 ถึง 4.18 เมื่อนำกากจี๋แป้งมาย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นและกรดฟอสฟอริกเข้มข้นที่อัตราส่วน 100 : 0 , 75 : 25 , 50 : 50 , 25 : 75 และ 0 : 100 โดยปริมาตร จะเห็นว่า กรดผสมที่ใช้ย่อยกากจี๋แป้งที่อัตราส่วนต่างๆ ไม่สามารถทำให้กากจี๋แป้งสลายตัวกลายเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันได้หมด นั่นคือกากจี๋แป้งที่ย่อยด้วยกรดผสมระหว่างไนตริกเข้มข้นกับฟอสฟอริกเข้มข้นที่อัตราส่วนต่างๆ จะมีลักษณะเป็นตะกอนอยู่ในสารละลาย ยังมีกากจี๋แป้งบางส่วนที่ไม่ละลายและคงรูปของกากจี๋แป้งเอาไว้ ทำให้เมื่อนำกากจี๋แป้งเหลวมาทดสอบหาปริมาณไนโตรเจนจึงได้ค่าประมาณ 0.27 – 1.04 % โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 4.5)

4.2.3 สมบัติของปุ๋ยเหลว

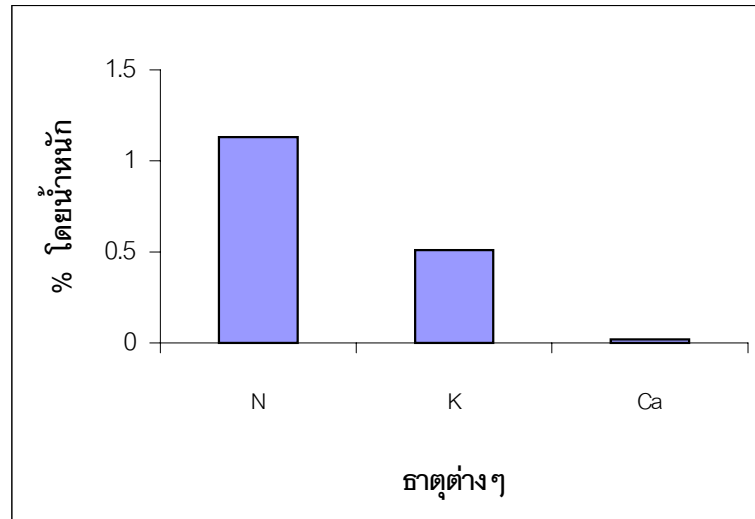
นำกากจี้แป้งเหลวที่ได้จากการละลายด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นเพียงอย่างเดียวมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกเพียงอย่างเดียวให้ค่าไนโตรเจนสูงที่สุดคือประมาณ 1.04 % โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 4.5) ผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบได้ผลดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.19 และ 4.20

ตารางที่ 4.6 ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ในกากจี้แป้งเหลว

ธาตุอาหารต่างๆ	กากจี้แป้งเหลว (% โดยน้ำหนัก)
- ไนโตรเจน (N)	1.13 ± 0.03
- ฟอสฟอรัส (P)	30.24 ± 2.61
- โพแทสเซียม (K)	0.51 ± 0.04
- โลหะหนัก	
- แมกนีเซียม (Mg)	7.32 ± 0.22
- สังกะสี (Zn)	0.29 ± 0.02
- แคลเซียม (Ca)	0.02 ± 0.01



รูปที่ 4.19 ปริมาณฟอสฟอรัส แมกนีเซียมและสังกะสีในกากจี้แป้งเหลว



รูปที่ 4.20 ปริมาณไนโตรเจน, โพแทสเซียมและแคลเซียมในกากชี้แบ่งเหลวที่ย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น

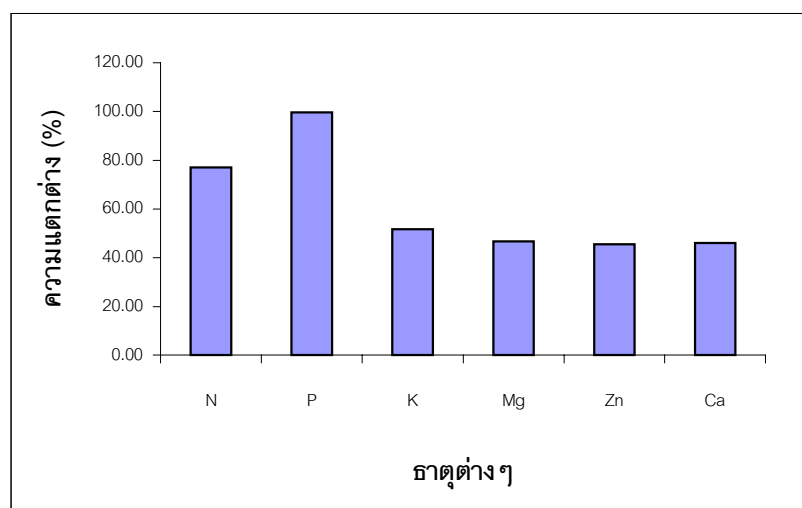
กากชี้แบ่งเหลวที่ได้จากการสกัดด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นจะมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม ประมาณ 1.13%, 30.24%, 0.51%, 7.32% , 0.29% และ 0.02 % โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.1-4.20 จะเห็นว่า ปริมาณของธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในกากชี้แบ่งเหลวธาตุที่มีปริมาณสูงที่สุดคือ ฟอสฟอรัส รองลงมาคือ แมกนีเซียม สังกะสี ไนโตรเจน โพแทสเซียม และแคลเซียม ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณของ ธาตุจากปุ๋ยที่ขายทางการค้าทั่วไปพบว่าธาตุที่ได้จากกากชี้แบ่งเหลวที่ย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกมีค่าน้อยมาก กากชี้แบ่งเหลวที่ได้จากการย่อยสลายด้วยกรดฟอสฟอริกต้องมีการเติมปริมาณของธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตพืชได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ส่วนธาตุอาหารรองก็มีความเพียงพอต่อความต้องการของพืชอยู่แล้ว และตรวจสอบค่า pH ให้เหมาะสมเพื่อที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยต่อไป

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของธาตุต่างๆ ในน้ำสกัดกากชี้แบ่งกับปุ๋ยเหลวที่เตรียมได้ พบว่ามีค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสีและแคลเซียมอยู่ในช่วง 0.16–0.32%, 0.05–0.12%, 0.21–0.28%, 3.46–4.72%, 0.12–0.19% และ 0.007–0.013% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) ส่วนธาตุต่างๆ ในกากชี้แบ่งเหลวมีค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม ปริมาณ 1.13%, 30.24%, 0.51%, 7.32%, 0.29% และ 0.02 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) พบว่าปริมาณของธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในกากชี้แบ่งเหลวจะมีปริมาณมากกว่าในน้ำสกัดมากประมาณ 45.53–99.74% ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.21 ธาตุที่มี

ความแตกต่างมากที่สุดคือฟอสฟอรัสประมาณ 99.74% รองลงมาคือ ไนโตรเจน โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม และสังกะสี มีค่าความแตกต่างประมาณ 76.98%, 51.68%, 46.72% 46.03% และ 45.53% ตามลำดับ แสดงว่าการนำกากจี้เป้งไปใช้ทำปุ๋ยเหลวเพื่อใช้กับพืชโดยการแปรสภาพโดยการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริก พืชจะได้รับแร่ธาตุต่างๆ ในปริมาณที่มากกว่าการนำกากจี้เป้งมาใช้โดยตรงกับพืชโดยยังไม่ผ่านการแปรสภาพใดๆ

ตารางที่ 4.7 ความแตกต่างของปริมาณธาตุต่างๆ ในกากจี้เป้งเหลวและน้ำสกัดกากจี้เป้ง

ธาตุต่างๆ	กากจี้เป้งเหลว (% โดยน้ำหนัก)	น้ำสกัดกากจี้เป้ง (% โดยน้ำหนัก)	ความแตกต่าง (%)
- ไนโตรเจน (N)	1.13	0.26	76.98
- ฟอสฟอรัส (P)	30.24	0.08	99.74
- โพแทสเซียม (K)	0.51	0.25	51.68
- โลหะหนัก			
- แมกนีเซียม (Mg)	7.32	3.90	46.72
- สังกะสี (Zn)	0.29	0.16	45.53
- แคลเซียม (Ca)	0.02	0.01	46.03



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบความแตกต่างของธาตุอาหารต่างๆ ระหว่างในกากจี้เป้งเหลวและน้ำสกัดกากจี้เป้ง

การนำกากจี้เป้งเหลวที่ได้จากย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นไปใช้กับดินไม่จำเป็นต้องมีการปรับค่า pH ของกากจี้เป้งเหลวให้มีความเหมาะสมด้วยสารละลาย KOH เนื่องจากกากจี้เป้งเหลวที่ได้จะมีความเป็นกรดที่สูงมาก ดังนั้นต้องปรับค่า pH ของกากจี้เป้งเหลวให้มีความเป็นกลาง และการปรับค่า pH ของกากจี้เป้งเหลวด้วยสารละลาย KOH จะเป็นการเพิ่มธาตุโพแทสเซียมให้แก่ปุ๋ยเหลวได้อีกทางหนึ่ง

การทำปุ๋ยเหลวโดยการนำกากจี้เป้งมาทำการย่อยเอาแร่ธาตุต่างๆ ออกมาในรูปของเหลว โดยการใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น จะเห็นว่าธาตุอาหารต่างๆ ที่ละลายออกมาในกากจี้เป้งเหลวมีปริมาณค่อนข้างน้อย เนื่องจากกรดฟอสฟอริกไม่สามารถจะแปรสภาพกากจี้เป้งให้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกันได้อย่างสมบูรณ์ โดยยังคงมีกากจี้เป้งบางส่วนที่ไม่เกิดการแปรสภาพไปเป็นของเหลว แต่ยังคงรูปของกากจี้เป้งเอาไว้ การจะแปรสภาพกากจี้เป้งให้มีลักษณะเป็นปุ๋ยเหลวน่าจะศึกษาต่อไปโดยการหมักหรือที่เรียกว่า “ปุ๋ยน้ำชีวภาพ” ซึ่งจะให้ผลที่ดีกว่าและใช้ต้นทุนต่ำ แต่ต้องใช้ระยะเวลานานพอสมควรในการศึกษา

กากจี้เป้งที่เก็บไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 1 – 2 เดือน เมื่อนำมาทดสอบค่า BOD และ COD มีค่าประมาณ 260 และ 515 มิลลิกรัม / ลิตร มีค่า BOD / COD ประมาณ 0.51 จะเห็นว่ามีความมากกว่า 0.5 แสดงว่ากากจี้เป้งสามารถย่อยสลายได้โดยวิธีทางชีวภาพด้วยการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการหมักกากจี้เป้ง การแปรสภาพกากจี้เป้งโดยวิธีการหมักให้เป็นปุ๋ยเหลว ต้องใช้เวลาที่นานกว่าวิธีการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น คาดว่าจะให้ปริมาณแร่ธาตุที่มีมากกว่าการย่อยกากจี้เป้งด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น เนื่องจากกากจี้เป้งสามารถสลายธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ทั้งหมดในกากจี้เป้งได้

โดยทั่วไปแล้ว ปุ๋ยหมักอินทรีย์ชีวภาพชนิดน้ำหรือปุ๋ยน้ำชีวภาพจะมีลักษณะเป็นสารละลายสีน้ำตาลขุ่น โดยจะผ่านกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ที่มีทั้งแบบที่ต้องการออกซิเจนและไม่ต้องการออกซิเจน มีการเติมน้ำตาลทรายแดงหรือกากน้ำตาลเพื่อเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลาย จุลินทรีย์ที่ใช้ส่วนใหญ่ (ปุ๋ยน้ำชีวภาพ, 2547) มีอยู่ในกลุ่มแบคทีเรีย เช่น *Bacillus* sp., *Lactobacillus* sp. , *Streptococcus* sp. กลุ่มเชื้อรา เช่น *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp., *Rhizopus* และกลุ่มยีสต์ อาทิเช่น *Candida* sp. ฉะนั้นน้ำสกัดอินทรีย์ชีวภาพที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์แล้ว จึงประกอบด้วยจุลินทรีย์หลากหลายชนิดและปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญของพืช

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

กากซีเมนต์ที่ได้จากตัวแทนโรงงานนำย่างชั้น 3 แห่งในพื้นที่จังหวัดสงขลาและปัตตานี มีสมบัติทางกายภาพและเคมีดังนี้

1. กากซีเมนต์มีปริมาณของแข็งทั้งหมดระหว่าง 58.05–62.96% โดยน้ำหนัก มีสภาพค่อนข้างเป็นกลาง มีค่า pH ระหว่าง 7.38–7.74 มีความหนาแน่นระหว่าง 1.16–1.63 กรัม/มิลลิลิตร ประกอบด้วยธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และ แมกนีเซียม เป็นต้น
2. ความชื้นในกากซีเมนต์ ประกอบด้วย น้ำ เชื้อรุม และแอมโมเนีย มีปริมาณระหว่าง 37–42% โดยน้ำหนัก มีปริมาณของแข็งที่คงอยู่ระหว่าง 24–28% โดยน้ำหนัก (หลังเผากากซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 550 ± 50 °C) ประกอบด้วยสารพวกคาร์บอนและพวกโลหะหนักที่ไม่สามารถระเหยได้ ส่วนของแข็งที่ระเหยได้ระหว่างมีปริมาณ 72–76% โดยน้ำหนัก ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่สามารถระเหยกลายเป็นไอ
3. ธาตุฟอสฟอรัสมีปริมาณสูงสุดประมาณ 14.68% โดยน้ำหนัก ธาตุที่มีรองลงมาคือ แมกนีเซียม, ไนโตรเจน, โพแทสเซียม, สังกะสี และแคลเซียม มีปริมาณระหว่าง 12.24%, 3.31%, 1.01%, 0.63% และ 0.03% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ
4. ธาตุที่สามารถละลายน้ำได้มากที่สุดของกากซีเมนต์ คือ แมกนีเซียมมีค่าประมาณ 3.90% รองลงมาคือ ไนโตรเจน, โพแทสเซียม, สังกะสี และฟอสฟอรัส มีค่าประมาณ 0.26%, 0.25%, 0.16%, และ 0.08% ตามลำดับ และธาตุที่มีน้อยที่สุดคือแคลเซียม มีค่าประมาณ 0.01%
5. ค่า BOD และ ค่า COD ของกากซีเมนต์จะมีค่าประมาณ 260.00 และ 515 มิลลิกรัม/ลิตร และ อัตราส่วน BOD ต่อ COD มีค่าประมาณ 0.51 แสดงว่าสามารถบำบัดได้โดยวิธีทางชีวภาพ ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม
6. กากซีเมนต์สามารถละลายในกรดฟอสฟอริกเข้มข้นมากกว่ากรดไนตริกเข้มข้น พบว่า กากซีเมนต์เหลวที่ได้จากการสกัดด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นจะมีปริมาณไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียม, แมกนีเซียม, สังกะสี และแคลเซียม ปริมาณ 1.13%, 30.24%, 0.51%, 7.32%, 0.29% และ 0.02% ตามลำดับ
7. ธาตุต่างๆ ในกากซีเมนต์สามารถละลายออกมาในกรดฟอสฟอริกมากกว่าละลายในน้ำ โดยกากซีเมนต์เหลวที่ได้จากการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นต้องมีการเติมปริมาณของธาตุ

อาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ส่วนธาตุอาหารรองมีความเพียงพอต่อความต้องการของพืชอยู่แล้ว

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

ศึกษาการแปรสภาพกากจีแป้งให้เป็นปุ๋ยเหลว โดยใช้วิธีการหมักหรือที่เรียกว่าการทำปุ๋ยน้ำชีวภาพ เมื่อได้ปุ๋ยเหลวแล้ว นำมาทดลองใช้เป็นปุ๋ยกับต้นไม้ทางเศรษฐกิจ เช่น ต้นกล้วยไม้ซึ่งเป็นไม้อดอก ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ หรือทดลองใช้เป็นปุ๋ยสำหรับต้นยางพาราในกลุ่มเกษตรกร เป็นการคืนแร่ธาตุกลับคืนสู่ดินให้แก่ต้นยางพารา และทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยเหลวที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นยางพารา

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรมพัฒนาที่ดิน. 2546. การปลูกยางพารา(ออนไลน์).
 สืบค้นจาก : <http://www.ddd.go.th/web-ddd/Plant/Page04.htm> [5 กันยายน 2546]
- กิตติพงศ์ วิธินโรจน์จรัส. 2547. ปุ๋ยน้ำชีวภาพ(ออนไลน์). สืบค้นจาก :
<http://suphanburi.doae.go.th/BioTech02.htm> [29 มกราคม 2547]
- กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2546. การปลูกยางพารา(ออนไลน์). สืบค้นจาก :
<http://www.ddd.go.th/web-ddd/Plant/Page04.htm#Title11>. [12 / 11 / 46]
- กรมวิชาการการเกษตร. กองเกษตรเคมี. 2536. วิธีวิเคราะห์ปุ๋ย. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการการเกษตร.
 โกศล จริงสูงเนิน. 2528. การเตรียมน้ำยางสด. ว.ยางพารา, 6 (1) : 5 – 8.
- คณะกรรมการจัดทำคู่มือการวิเคราะห์น้ำเสีย สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.)
 2540. คู่มือการวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3.
- ชวนพิศ อรุณรังสิกุล และ จันทร์จรัส วีรสาร. 2547. ปุ๋ยธรรมชาติที่ควรรู้จัก(ออนไลน์).
 สืบค้นจาก : <http://clgc.rdi.ku.ac.th/index.html> [30 มกราคม 2547]
- นภารัตน์ ไวยเจริญ. 2544. “การทำปุ๋ยหมักของมูลฝอยจากตลาดสดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่
 จังหวัดสงขลา” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาการการจัดการสิ่งแวดล้อม
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นันทพันธุ์ รัตนธรรม. 2541. คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ย. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการการเกษตร.
- บุญธรรม นิธิอุทัย, พรพรรณ นิธิอุทัย และ ปรีชา ป้องภัย. 2539. เทคโนโลยีน้ำยางข้น.
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ม.สงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- ปุ๋ยน้ำชีวภาพ(ออนไลน์). 2547. สืบค้นจาก :
http://www.doae.go.th/soil_fert/biofert/index1biofer.htm [30 มกราคม 2547]
- พรศักดิ์ สังข์ศักดิ์. 2536. การวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตในปุ๋ย. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการการเกษตร.
- ยงยุทธ โอสดสภา. 2542. ศัพท์ในวงการปุ๋ย. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
 หน้า.238
- รวมความรู้(ออนไลน์). 2547. สืบค้นจาก : <http://ecoschools.net/ecoschool/student/know.html>
 [30 มกราคม 2547]
- วรากรณ์ ขจรไชยกุล. 2536. อุตสาหกรรมการผลิตยางดิบ. เอกสารวิชาการเรื่องยาง สถาบันวิจัย
 ยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- วราศรี เอกประสิทธิ์. 2543. “การนำกากจีบ้จากอุตสาหกรรมน้ำยางขึ้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วันชัย แก้วยอด. 2540. “การตรวจสอบการจัดการน้ำเสียโรงงานยาง : กรณีศึกษาในจังหวัดสงขลา (The Investigation of Rubber Wastewater Management : A Case Study of Changwat Songkhla)”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการ จัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนโดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เล่ม 18. 2541. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : รุ่งศิลป์การพิมพ์.
- สวนยางพารา(ออนไลน์). 2546. สืบค้นจาก:
<http://www.fortunecity.com/greenfield/fish/635/sailom21.html>. [5 กันยายน 2546]
- เสาวนีย์ ก่อวุฒิภูรังษ์. 2543. การผลิตยางธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์. ม.สงขลานครินทร์. วิทยาเขตปัตตานี.
- อุตสาหกรรมแปรรูปน้ำยางสด (ออนไลน์). 2546. สืบค้นจาก:
<http://www.rubberthai.com/information/industry/industry3.htm> . [20 สิงหาคม 2546]
- AOAC. 1990. Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. U.S.A. : AOAC, Inc.
- APHA, AWWA and WEF. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater . 18th ed. New York. : American Public Health Association.
- Blackley, D.C. 1997. Polymer Latexes. 2nd ed; Chapman & Hall , London,

ภาคผนวก ก

1. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของกากขี้เถ้าของโรงงาน ต่างๆ ณ จุดที่เก็บคือบริเวณถังป่น

ตารางที่ 1 ค่า pH ของกากขี้เถ้าของโรงงานต่างๆ

โรงงาน	ครั้งที่	กากขี้เถ้า (กรัม)	pH
ถาวร	1	10.0841	7.41
	2	10.0578	7.37
	3	10.0639	7.37
	เฉลี่ย	10.0686	7.38 ± 0.02
ฉลอง	1	10.0035	7.59
	2	10.0144	7.56
	3	10.0743	7.56
	เฉลี่ย	10.0307	7.57 ± 0.02
ป่าเทือก	1	10.0603	7.81
	2	10.0725	7.68
	3	10.0962	7.72
	เฉลี่ย	10.0763	7.74 ± 0.07

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นของกากชีปะ่งของโรงงานต่างๆ

โรงงาน	ครั้งที่	กากชีปะ่ง (กรัม)	น้ำที่แทนที่กากชีปะ่ง (มิลลิลิตร)	ความหนาแน่น (กรัม / มิลลิลิตร)
ถาวร	1	25.0203	20.0	1.25
	2	20.7921	19.0	1.09
	3	22.5015	20.0	1.13
	เฉลี่ย			1.16 ± 0.08
ฉลอง	1	18.3790	15.8	1.16
	2	22.7325	18.5	1.23
	3	21.6856	18.5	1.17
	เฉลี่ย			1.19 ± 0.04
ป่าเท็กซ์	1	24.5948	14.0	1.76
	2	22.4683	15.5	1.45
	3	23.4641	14.0	1.68
	เฉลี่ย			1.63 ± 0.16

ตัวอย่างการคำนวณค่าความหนาแน่น

จาก

ความหนาแน่น = มวล / ปริมาตร

ดังนั้น

ความหนาแน่น = $25.02 / 20.0$

= 1.251 กรัม / มิลลิลิตร

ตารางที่ 3 น้ำหนักของถ้วยระเหยและน้ำหนักของถ้วยระเหยรวมกับกากจีแป้งที่สภาวะต่างๆ

โรงงาน	ครั้งที่	นน.ถ้วย (กรัม)	นน.ถ้วย + กากจีแป้งก่อนอบ (กรัม)	นน.ถ้วย + กากจีแป้งหลังอบ (กรัม)	นน.ถ้วย + กากจีแป้งหลังเผา (กรัม)
ถาวร	1	89.3650	118.3160	102.0052	96.9324
	2	89.1631	104.6510	95.3954	93.1589
ฉลอง	1	78.7038	109.8107	89.9494	85.9698
	2	106.8559	129.3951	116.1280	112.4453
ป่าเทือกซ์	1	87.9580	122.5567	100.5954	94.5655
	2	95.8027	116.3218	103.5094	100.2786

ตารางที่ 4 น้ำหนักของกากจีแป้งทั้งในแบบสด หลังอบและหลังเผา

โรงงาน	ครั้งที่	นน.กากจีแป้ง (กรัม)		
		กากจีแป้งสด (X)	กากจีแป้งหลังอบ (Y)	กากจีแป้งหลังเผา (Z)
ถาวร	1	28.9510	16.3108	5.0728
	2	15.4879	9.2556	2.2365
ฉลอง	1	31.1069	19.8613	3.9796
	2	22.5392	13.2671	3.6827
ป่าเทือกซ์	1	34.5987	21.9613	6.0299
	2	20.5191	12.8124	3.2308

ตารางที่ 5 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC) , ความชื้น (%MC), ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ (%FS) และ ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (%VS) ของกากซีเมนต์ของโรงงานต่างๆ

ปริมาณค่าต่าง ๆ	ครั้งที่	ถาวร	ทดลอง	ปาเท็กซ์
ของแข็งทั้งหมด (TSC) , %	1	56.34	63.85	63.47
	2	59.76	58.86	62.44
	เฉลี่ย	58.05 ± 2.42	61.36 ± 3.53	62.96 ± 0.73
ความชื้น (MC) , %	1	43.66	36.15	36.53
	2	40.24	41.14	37.56
	เฉลี่ย	41.95 ± 2.42	38.65 ± 3.53	37.05 ± 0.73
ของแข็งที่คงอยู่ (FS) , %	1	31.10	20.04	27.46
	2	24.16	27.76	25.22
	เฉลี่ย	27.63 ± 4.91	23.90 ± 5.46	26.34 ± 1.58
ของแข็งที่ระเหยได้ (VS) , %	1	68.90	79.96	72.54
	2	75.84	72.24	74.78
	เฉลี่ย	72.37 ± 4.91	76.10 ± 5.46	73.66 ± 1.58

ตัวอย่างการคำนวณค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ความชื้น ปริมาณของแข็งที่คงอยู่และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้

$$\begin{aligned}
 \%TSC \text{ (ปริมาณของแข็งทั้งหมด)} &= (Y \times 100) / X \\
 &= (16.3108 \times 100) / 28.9510 \\
 &= 56.34 \% \\
 \%MC \text{ (ความชื้น)} &= ((X - Y) \times 100) / X \\
 &= ((28.9510 - 16.3108) \times 100) / 28.9510 \\
 &= 43.66 \% \\
 \%FS \text{ (ปริมาณของแข็งที่คงอยู่)} &= (Z \times 100) / Y \\
 &= (5.0728 \times 100) / 16.3108 \\
 &= 31.10 \% \\
 \%VS \text{ (ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้)} &= ((Y - Z) \times 100) / Y \\
 &= ((16.3108 - 5.0728) \times 100) / 16.3108 \\
 &= 68.90 \%
 \end{aligned}$$

2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากชี้เป้งของโรงงานต่าง ๆ ณ จุดที่เก็บคือ บริเวณถังป่น

ตารางที่ 6 ปริมาณไนโตรเจนในกากชี้เป้งอบแห้ง

โรงงาน	ครั้งที่	กากชี้เป้งอบแห้ง (กรัม)	HCl (มิลลิลิตร)	ไนโตรเจน (%)
ถาวร	1	1.008	22.1	3.07
	2	1.004	22.0	3.07
	3	1.001	22.0	3.08
	เฉลี่ย			3.07 ± 0.01
ทดลอง	1	1.002	26.1	3.65
	2	1.001	26.1	3.65
	3	1.004	26.2	3.65
	เฉลี่ย			3.65 ± 0.01
ป่าเทือกซ์	1	1.006	23.1	3.21
	2	1.009	23.1	3.21
	3	1.009	23.0	3.19
	เฉลี่ย			3.20 ± 0.01

เฉลี่ยค่าไนโตรเจนในกากชี้เป้งแห้ง 3.31 ± 0.03 %

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนในกากชี้เป้งอบแห้ง

จาก

$$\% \text{Total N} = [(S - B) \times N \times 14] / (W \times 10)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \% \text{Total N} &= [(22.1 - 0.0) \times 0.1 \times 14] / (1.008 \times 10) \\ &= 3.07 \% \end{aligned}$$

ตารางที่ 7 ปริมาณไนโตรเจนในน้ำสกัดจากกากชีปะ่ง

โรงงาน	ครั้งที่	กากชีปะ่ง (gm)	น้ำกลั่น (ml)	น้ำสกัดกากชีปะ่ง (ml)	HCl (ml)	ไนโตรเจน (%)
ถาวร	1	10.0071	700	10	0.3	0.29
	2	10.0071	700	10	0.3	0.29
	3	10.0071	700	10	0.3	0.29
	เฉลี่ย					0.24 ± 0.00
ทดลอง	1	10.0791	700	10	0.3	0.29
	2	10.0791	700	10	0.4	0.39
	3	10.0791	700	10	0.3	0.29
	เฉลี่ย					0.32 ± 0.04
ปาเท็กซ์	1	10.0330	700	10	0.2	0.20
	2	10.0330	700	10	0.2	0.20
	3	10.0330	700	10	0.1	0.10
	เฉลี่ย					0.16 ± 0.04

เฉลี่ยค่าไนโตรเจนในน้ำสกัดจากกากชีปะ่ง 0.26 ± 0.06 %

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนในน้ำสกัดจากกากชีปะ่ง

นำกากชีปะ่งมา 10.0071 กรัม เติมน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วนำมาเซนตริฟิวส์ด้วยความเร็ว 4,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำน้ำสกัดจากกากชีปะ่งมา 10 มิลลิลิตร ไตรเตรดกับ 0.1 N HCl ตามวิธีในหัวข้อ 3.4.4

วิธีคำนวณ

น้ำสกัดจากกากชีปะ่งมา 10 มิลลิลิตร มีกากชีปะ่ง $10.007 \times 10 / 700 = 0.143$ กรัม

จากสูตร $\% \text{Total N} = [(S - B) \times N \times 14] / (W \times 10)$

แทนค่า $\% \text{Total N} = [(0.3 - 0.0) \times 0.1 \times 14] / (0.143 \times 10)$

= 0.29 %

ตารางที่ 8 ปริมาณฟอสเฟตในกากจีแป้งอบแห้ง

โรงงาน	ครั้งที่	กากจีแป้งอบแห้ง (กรัม)	ค่าการดูดกลืน (Abs.)	ฟอสเฟต (ppm)	ฟอสเฟต (%)
ถาวร	1	1.0009	0.135	2.705	13.52
	2	1.0007	0.149	2.986	14.92
	เฉลี่ย				14.22 ± 0.99
ฉลอง	1	1.0025	0.152	3.046	15.19
	2	1.0055	0.152	3.046	15.15
	เฉลี่ย				15.17 ± 0.03
ปาเท็กซ์	1	1.0914	0.159	3.186	14.60
	2	1.0517	0.155	3.106	14.77
	เฉลี่ย				14.68 ± 0.12

เฉลี่ยค่าฟอสเฟตในกากจีแป้งอบแห้ง = $14.69 \pm 0.42 \%$

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสในกากจีแป้งอบแห้ง

นำกากจีแป้งมา 1.0009 กรัมมาย่อยจนหมดแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากทำการเจือจางโดยเปิดจาก 100 มิลลิลิตรมา 0.1 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0.135 Abs. เทียบจากกราฟมาตรฐานได้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในกากจีแป้งเท่ากับ 2.705 ppm จะได้ว่า

สารละลาย 1000 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส 2.705 มิลลิกรัม
 ถ้าสารละลาย 50 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส = $50 \times 2.705 / 1000$
 = 0.1353 มิลลิกรัม
 สารละลาย 50 มิลลิลิตร ได้จากการเปิดตัวอย่างมา 0.1 มิลลิลิตร
 ดังนั้น สารละลาย 0.1 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส 0.135 มิลลิกรัม
 ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส = $100 \times 0.135 / 0.1$
 = 135.3 มิลลิกรัม
 สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการย่อยกากจีแป้งประมาณ 1.0009 กรัม
 ดังนั้น กากจีแป้ง 1.0009 กรัม มีฟอสฟอรัส 0.1353 กรัม
 ถ้ากากจีแป้ง 100 กรัม มีฟอสฟอรัส = $100 \times 0.1353 / 1.0009$
 = 13.52 % โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 9 ปริมาณฟอสเฟตในน้ำสกัดกากจีแป้ง

โรงงาน	ครั้งที่	น้ำสกัดกากจีแป้ง (มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืน (Abs.)	ฟอสเฟต (ppm)	ฟอสเฟตในน้ำ สกัดกากจีแป้ง (ppm)
ถาวร	1	20	0.007	0.140	490.64
	2	20	0.008	0.160	560.72
	เฉลี่ย				525.68 ± 49.56
ทดลอง	1	20	0.008	0.160	556.67
	2	20	0.010	0.200	695.84
	เฉลี่ย				626.26 ± 98.41
ปาเท็กซ์	1	20	0.016	0.321	1118.55
	2	20	0.018	0.361	1258.37
	เฉลี่ย				1188.46 ± 98.87

เฉลี่ยค่าฟอสเฟตในน้ำสกัดกากจีแป้ง = 0.08 ± 0.03 %

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำสกัดกากซีเปีย

นำกากซีเปียมา 10.0071 มิลลิกรัม เติมน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วนำมา เซ็นตริฟิวจ์ด้วยความเร็ว 4,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำน้ำสกัดกากซีเปียมา 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากทำการเจือจางโดยปิเปตจาก 100 มิลลิลิตรมา 5 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0.007 Abs. เทียบจากกราฟมาตรฐานได้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในกากซีเปียเท่ากับ 0.140 ppm จะได้ว่า

สารละลาย 1000 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส 0.140 มิลลิกรัม

ถ้าสารละลาย 50 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส $= \frac{50 \times 0.140}{1000} = 0.007$ มิลลิกรัม

สารละลาย 50 มิลลิลิตรได้จากการปิเปตตัวอย่างมา 5.0 มิลลิลิตร

ดังนั้น สารละลาย 5.0 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส 0.007 มิลลิกรัม

ถ้า สารละลาย 100 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส $= \frac{100 \times 0.007}{5.0} = 0.140$ มิลลิกรัม

สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการย่นน้ำสกัดกากซีเปีย 20 มิลลิลิตร

ดังนั้น น้ำสกัดกากซีเปีย 20 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส 0.140 มิลลิกรัม

ถ้า น้ำสกัดกากซีเปีย 700 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส $= \frac{700 \times 0.140}{20} = 4.910$ มิลลิกรัม

น้ำสกัดกากซีเปีย 700 มิลลิลิตรได้จากกากซีเปีย 10.0071 กรัม

ดังนั้น กากซีเปีย 10007.1 มิลลิกรัม มีฟอสฟอรัส 4.910 มิลลิกรัม

กากซีเปีย 1000000 มิลลิกรัม มีฟอสฟอรัส $= \frac{1000000 \times 4.910}{10007.1} = 490.64$ ppm

ตารางที่ 10 ปริมาณโลหะหนักของกากชีปะอบแห้ง

โรงงาน	ครั้งที่	กากชีปะอบแห้ง (กรัม)	ค่าการดูดกลืน (Abs.)				โลหะหนัก (ppm)				โลหะหนัก (%)			
			Mg	Zn	K	Ca	Mg	Zn	K	Ca	Mg	Zn	K	Ca
ถาวร	1	1.0009	0.097	0.619	0.177	0.022	0.108	0.879	1.138	1.864	10.79	0.98	1.14	0.02
	2	1.0007	0.121	0.619	0.147	0.018	0.135	0.879	0.945	1.525	13.49	0.98	0.94	0.02
	เฉลี่ย										12.17 ± 1.87	0.98 ± 0.01	1.04 ± 0.14	0.02 ± 0.01
ทดลอง	1	1.0025	0.094	0.228	0.207	0.099	0.105	0.324	1.330	8.390	10.49	0.36	1.33	0.08
	2	1.0055	0.137	0.243	0.166	0.048	0.153	0.345	1.067	4.068	15.22	0.38	1.06	0.04
	เฉลี่ย										12.86 ± 3.34	0.37 ± 0.01	1.20 ± 0.19	0.06 ± 0.03
ป่าเท็กซ์	1	1.0914	0.116	0.373	0.166	0.016	0.130	0.530	1.067	1.356	11.89	0.54	0.98	0.01
	2	1.0517	0.108	0.366	0.099	0.015	0.121	0.520	0.636	1.271	11.51	0.55	0.60	0.01
											11.70 ± 0.27	0.54 ± 0.01	0.79 ± 0.27	0.01 ± 0.01
เฉลี่ย-รวม											12.24 ± 1.43	0.63 ± 0.23	1.00 ± 0.17	0.03 ± 0.02

หมายเหตุ Slope : Mg = 0.8942 , Zn = 0.6342 K = 0.1556 Ca = 0.0118
 Dilution factor : Mg = 1×10^6 , Zn = 1×10^4 K = 1×10^4 Ca 1×10^2

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณโลหะหนักในกากซีเป้งอบแห้ง

นำกากซีเป้งมา 1.0009 กรัมมาย่อยจนหมดแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเจือจางโดยปิเปตจาก 100 มิลลิลิตรมา 1.0 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเจือจางอีกครั้งโดยปิเปตจาก 100 มิลลิลิตร ที่ผ่านการเจือจางแล้วมา 1.0 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นของแมกนีเซียมได้เท่ากับ 0.097 Abs. เทียบจากกราฟมาตรฐานได้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในกากซีเป้งเท่ากับ 0.108 ppm จะได้ว่า

	สารละลาย 1000 มิลลิลิตร	มีแมกนีเซียม	0.108	มิลลิกรัม
	ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร	มีแมกนีเซียม	$= (100 \times 0.108) / 1000$	มิลลิกรัม
			$= 0.0108$	มิลลิกรัม
	สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการปิเปตตัวอย่างมา 1.0 มิลลิลิตร			
ดังนั้น	สารละลาย 1.0 มิลลิลิตร	มีแมกนีเซียม	0.0108	มิลลิกรัม
	ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร	มีแมกนีเซียม	$= (100 \times 0.0108) / 1.0$	มิลลิกรัม
			$= 1.080$	มิลลิกรัม
	สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการปิเปตตัวอย่างมา 1.0 มิลลิลิตร			
ดังนั้น	สารละลาย 1.0 มิลลิลิตร	มีแมกนีเซียม	1.080	มิลลิกรัม
	ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร	มีแมกนีเซียม	$= (100 \times 1.080) / 1.0$	
			$= 108.00$	มิลลิกรัม
	สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการย่อยกากซีเป้งประมาณ 1.0009 กรัม			
ดังนั้น	กากซีเป้ง 1.0009 กรัม	มีแมกนีเซียม	0.10800 กรัม (108.00 มิลลิกรัม)	
	ถ้ากากซีเป้ง 100 กรัม	มีแมกนีเซียม	$= (100 \times 0.10800) / 1.0009$	กรัม
			$= 10.79 \%$	โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 11 ปริมาณโลหะหนักของน้ำสกัดกากจีแป๋ง

โรง งาน	ครั้งที่	น้ำสกัด กากขี้เถ้า (มิลลิตร)	ค่าการดูดกลืน (Abs.)				โลหะหนักจากกราฟมาตรฐาน (ppm)				โลหะหนักในน้ำสกัดกากขี้เถ้า (%)			
			Mg	Zn	K	Ca	Mg	Zn	K	Ca	Mg	Zn	K	Ca
ถาวร	1	20	0.130	0.109	0.027	0.003	0.145	0.172	0.174	0.254	3.39	0.20	0.20	0.009
	2	20	0.135	0.095	0.029	0.003	0.151	0.150	0.186	0.254	3.52	0.17	0.22	0.009
	เฉลี่ย										3.46 ± 0.07	0.19 ± 0.02	0.21 ± 0.01	0.009 ± 0.00
ทดลอง	1	20	0.135	0.060	0.033	0.003	0.151	0.95	0.212	0.254	3.49	0.11	0.25	0.009
	2	20	0.137	0.075	0.029	0.002	0.153	0.118	0.186	0.169	3.55	0.145	0.22	0.006
	เฉลี่ย										3.52 ± 0.030	0.12 ± 0.02	0.23 ± 0.01	0.007 ± 0.002
ป่าเที๊ภัซ	1	20	0.177	0.087	0.038	0.004	0.198	0.137	0.244	0.339	4.60	0.16	0.28	0.012
	2	20	0.186	0.091	0.042	0.005	0.208	0.143	0.270	0.424	4.84	0.17	0.31	0.015
	เฉลี่ย										4.72 ± 0.12	0.16± 0.01	0.30 ± 0.01	0.013± 0.002
เฉลี่ย-รวม											3.96 ± 0.55	0.16 ± 0.23	0.25 ± 0.03	0.010 ± 0.002

หมายเหตุ Slope : Mg = 0.8942 , Zn = 0.6342 K = 0.1556 Ca = 0.0118
 Dilution factor : Mg = 2.33x10⁵ Zn = 1.17 x 10⁴ K = 1.17 x 10⁴ Ca 3.5 x 10²

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดกากซีเป้ง

นำกากซีเป้งมา 10.0071 มิลลิกรัม เติมน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วนำมา เซ็นตริฟิวจ์ด้วยความเร็ว 4,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำน้ำสกัดกากซีเป้งมา 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเจือจางโดยปิเปตจาก 100 มิลลิลิตรมา 3 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเจือจางโดยปิเปตจาก 100 มิลลิลิตรที่ทำการเจือจางแล้วมา 5 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้เท่ากับ 0.130 Abs.

เทียบจากกราฟมาตรฐานได้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในกากซีเป้งเท่ากับ 0.145 ppm
จะได้ว่า

$$\begin{array}{llll} \text{สารละลาย 1000 มิลลิลิตร} & \text{มีแมกนีเซียม} & 0.145 \text{ มิลลิกรัม} & \\ \text{ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร} & \text{มีแมกนีเซียม} & = \frac{100 \times 0.145}{1000} = & 0.0145 \text{ มิลลิกรัม} \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} \text{สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการปิเปตตัวอย่างมา} & 5.0 & \text{มิลลิลิตร} & \\ \text{ดังนั้น สารละลาย 5.0 มิลลิลิตร} & \text{มีแมกนีเซียม} & 0.0145 & \text{มิลลิกรัม} \\ \text{ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร} & \text{มีแมกนีเซียม} & = \frac{100 \times 0.0145}{5.0} = & 0.290 \text{ มิลลิกรัม} \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} \text{สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการปิเปตตัวอย่างมา} & 3.0 & \text{มิลลิลิตร} & \\ \text{ดังนั้น สารละลาย 3.0 มิลลิลิตร} & \text{มีแมกนีเซียม} & 0.290 & \text{มิลลิกรัม} \\ \text{ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร} & \text{มีแมกนีเซียม} & = \frac{100 \times 0.290}{3.0} = & 9.667 \text{ มิลลิกรัม} \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} \text{สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการย่น้ำสกัดกากซีเป้ง} & 20 & \text{มิลลิลิตร} & \\ \text{ดังนั้น น้ำสกัดกากซีเป้ง 20 มิลลิลิตร} & \text{มีแมกนีเซียม} & 9.667 & \text{มิลลิกรัม} \\ \text{ถ้าน้ำสกัดกากซีเป้ง 700 มิลลิลิตร} & \text{มีแมกนีเซียม} & = \frac{700 \times 9.667}{20} & \text{มิลลิกรัม} \\ & & = & 338.33 \text{ มิลลิกรัม} \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} \text{น้ำสกัดกากซีเป้ง 700 มิลลิลิตรได้จากกากซีเป้ง} & 10.0071 & \text{กรัม} & \\ \text{ดังนั้น กากซีเป้ง 10007.1 มิลลิกรัม} & \text{มีแมกนีเซียม} & 338.33 & \text{มิลลิกรัม} \\ \text{กากซีเป้ง 1000000 มิลลิกรัม} & \text{มีแมกนีเซียม} & = \frac{1000000 \times 338.33}{10007.1} & \text{มิลลิกรัม} \\ & & = & 33809.33 \text{ ppm} \end{array}$$

ตารางที่ 12 ค่า BOD ของน้ำเสกักกากชีปะ่งของโรงงานต่างๆ

โรงงาน	ครั้งที่	DO ₀	DO ₅	BOD (มิลลิกรัม / ลิตร)
ถาวร	1	6.8	5.6	240
	2	6.8	5.8	200
	เฉลี่ย			220 ± 28.28
ทดลอง	1	7.0	5.4	320
	2	6.8	5.6	240
	เฉลี่ย			280 ± 56.57
ปาเท็กซ์	1	6.8	5.4	280
	2	6.8	5.4	280
	เฉลี่ย			280 ± 0.01

ตัวอย่างการคำนวณค่า BOD ในน้ำเสกักกากชีปะ่ง

จากสูตร

$$BOD_5 = \frac{(DO_0 - DO_5)}{\text{อัตราการเจือจาง}}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 BOD_5 &= \frac{(6.8 - 5.6) \times 100}{0.5} \\
 &= 240 \text{ มิลลิกรัม / ลิตร}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 13 ค่า COD ของน้ำสกัดกากชีปะ่งของโรงงานต่างๆ

โรงงาน	ครั้งที่	น้ำสกัดกากชีปะ่ง (มิลลิลิตร)	FAS (มิลลิลิตร)	COD (มิลลิกรัม / ลิตร)
ถาวร	1	5	17.3	496
	2	10	11.0	500
	เฉลี่ย			498 ± 2.83
ทดลอง	1	5	18.2	424
	2	10	12.6	436
	เฉลี่ย			430 ± 8.49
ปาเท็กซ์	1	5	15.6	632
	2	10	7.8	628
	เฉลี่ย			630 ± 2.83

ตัวอย่างการคำนวณค่า COD ในน้ำสกัดกากชีปะ่ง

จากสูตร

$$\text{COD} = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{COD} &= \frac{(23.5 - 17.3) \times 0.05 \times 8000}{5} \\ &= 496 \text{ มิลลิกรัม / ลิตร} \end{aligned}$$

ตารางที่ 14 ปริมาณไนโตรเจนของกากขี้เป้งเหลวที่ถูกย่อยด้วยกรด HNO_3 และ H_3PO_4 ที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน $\text{HNO}_3 : \text{H}_3\text{PO}_4$	ครั้งที่	นน. กากขี้เป้ง (มิลลิกรัม/200ml)	กากขี้เป้งเหลว (มิลลิลิตร)	HCl (มิลลิลิตร)	ไนโตรเจน (%)
100 : 0	1	5.0725	20	8.5	0.24
	2	5.0664	20	11.4	0.32
	เฉลี่ย				0.28 ± 0.06
75 : 25	1	5.0079	20	10.4	0.29
	2	5.0651	20	10.8	0.30
	เฉลี่ย				0.29 ± 0.01
50 : 50	1	5.0895	20	10.8	0.30
	2	5.0171	20	10.2	0.29
	เฉลี่ย				0.29 ± 0.01
25 : 75	1	5.0031	20	11.0	0.31
	2	5.0016	20	12.7	0.36
	เฉลี่ย				0.33 ± 0.03
0 : 100	1	5.0528	20	18.1	1.01
	2	5.1066	20	18.0	1.06
	เฉลี่ย				1.03 ± 0.04

หมายเหตุ HCl มีความเข้มข้น 0.10 N

ตัวอย่างการคำนวณ

นำกากขี้เป้งสด 5.0725 กรัม และน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร มาผสมให้เข้ากันโดยการกวนอย่างช้าๆ จากนั้นเติมกรดผสมปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปล่อยให้กากขี้เป้งถูกย่อยด้วยกรดผสมอย่างสมบูรณ์เป็นระยะเวลา 24 – 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน

$$\text{จากสูตร} \quad \% \text{Total N} = \frac{[(S - B) \times N \times 14]}{(W \times 10)}$$

$$\text{แทนค่า} \quad \% \text{Total N} = \frac{[(8.5 - 0.0) \times 0.1 \times 14]}{(5.0725 \times 10)}$$

$$= 0.24 \%$$

ตารางที่ 15 ปริมาณไนโตรเจนของกากชี้เป้งเหลวที่ถูกย่อยด้วยกรด H_3PO_4

ครั้งที่	นน. กากชี้เป้ง (กรัม/200 มิลลิลิตร)	กากชี้เป้งเหลว (มิลลิลิตร)	HCl (มิลลิลิตร)	ไนโตรเจน (%)
1	50.1403	10	19.5	1.09
2	50.1403	10	20.0	1.12
3	50.2183	10	20.2	1.13
4	50.2183	10	20.3	1.13
5	50.0403	10	20.5	1.15
6	50.0403	10	20.9	1.17
เฉลี่ย				1.13 ± 0.03

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนในกากชี้เป้งเหลว

นำกากชี้เป้งสด 50.1403 กรัม และน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาผสมให้เข้ากันโดยการกวนอย่างช้าๆ จากนั้นเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 100 มิลลิลิตร ปล่อยให้กากชี้เป้งถูกย่อยด้วยกรดผสมอย่างสมบูรณ์เป็นระยะเวลา 24 – 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำกากชี้เป้งเหลวมา นำกากชี้เป้งเหลวมา 10 มิลลิลิตร ทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน

จากการทดลอง

นำกากชี้เป้งเหลวมา 10 มิลลิลิตร มีน้ำหนัก $10 \times 50.1403 / 200 = 2.5070$ กรัม

จากสูตร $\%Total\ N = [(S - B) \times N \times 14] / (W \times 10)$

แทนค่า $\%Total\ N = [(19.5 - 0.0) \times 0.1 \times 14] / (2.5070 \times 10)$

= 1.09 %

ตารางที่ 16 ปริมาณฟอสฟอรัสของกากจีแป้งเหลวที่ถูกย่อยด้วยกรด H_3PO_4

ครั้งที่	กากจีแป้งเหลว (มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืน (Abs)	ฟอสฟอรัส (ppm)	ฟอสฟอรัส (ppm)
1	10	0.133	2.524	33.56
2	10	0.120	2.277	30.28
3	10	0.109	2.068	27.46
4	10	0.100	1.898	25.19
5	10	0.127	2.410	32.11
6	10	0.130	2.467	32.86
เฉลี่ย				30.24 ± 2.61

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสในกากจีแป้งเหลว

นำกากจีแป้งสด 50.1403 กรัม และน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาผสมให้เข้ากันโดยการกวนอย่างช้าๆ จากนั้นเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำกากจีแป้งเหลวมา 10 มิลลิลิตร มาย่อยจนหมดแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากทำการเจือจางโดยปิเปตจาก 100 มิลลิลิตรมา 10 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเจือจางอีกครั้งโดยปิเปตจาก 100 มิลลิลิตร ที่ผ่านการเจือจางแล้ว มา 3.0 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0.133 Abs.

$$\begin{aligned}\text{ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในกากชีเป้ง} &= 0.133 / \text{slope กราฟมาตรฐาน} \\ &= 0.133 / 0.0527 = 2.524 \text{ ppm} \quad \text{จะได้ว่า}\end{aligned}$$

สารละลาย 1000 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส 2.524 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}\text{ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส} &= \frac{100 \times 2.524}{1000} = 0.2524 \text{ มิลลิกรัม}\end{aligned}$$

สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการบีบตัวอย่างมา 1.0 มิลลิลิตร

ดังนั้น สารละลาย 1.0 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส 0.2524 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}\text{ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส} &= \frac{100 \times 0.2524}{1.0} = 25.24 \text{ มิลลิกรัม}\end{aligned}$$

สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการบีบตัวอย่างมา 3.0 มิลลิลิตร

ดังนั้น สารละลาย 3.0 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส 25.24 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}\text{ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส} &= \frac{100 \times 25.24}{3.0} = 841.240 \text{ มิลลิกรัม}\end{aligned}$$

สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการย่อยกากชีเป้งเหลว 10 มิลลิลิตร

ดังนั้น กากชีเป้งเหลว 10 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส 841.240 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}\text{ถ้ากากชีเป้งเหลว 200 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส} &= \frac{200 \times 841.240}{10}\end{aligned}$$

$$= 16824.79 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$= 16.8248 \text{ กรัม}$$

กากชีเป้งเหลว 200 มิลลิลิตรได้จากกากชีเป้ง 50.1403 กรัม

ดังนั้น กากชีเป้ง 50.1403 กรัม มีฟอสฟอรัส 16.8248 กรัม

$$\begin{aligned}\text{กากชีเป้ง 100 กรัม มีฟอสฟอรัส} &= \frac{100 \times 16.8248}{50.1403}\end{aligned}$$

$$= 33.56 \%$$

ตารางที่ 17 ปริมาณโลหะหนักของกากชีปะ่งเหลวที่ถูกย่อยด้วยกรด H_3PO_4

ครั้งที่	กากชีปะ่ง เหลว (มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืน (Abs.)				โลหะหนัก (ppm)				โลหะหนัก (%)			
		Mg	Zn	K	Ca	Mg	Zn	K	Ca	Mg	Zn	K	Ca
1	10	0.465	0.025	0.016	0.006	0.525	0.067	0.068	1.000	6.99	0.27	0.54	0.0156
2	10	0.465	0.027	0.015	0.006	0.525	0.072	0.064	1.000	6.99	0.29	0.51	0.0156
3	10	0.506	0.03	0.013	0.01	0.572	0.080	0.055	1.667	7.59	0.32	0.44	0.026
4	10	0.505	0.029	0.017	0.006	0.571	0.077	0.072	1.000	7.58	0.31	0.57	0.0156
5	10	0.490	0.027	0.014	0.007	0.554	0.072	0.059	1.167	7.38	0.29	0.48	0.0182
6	10	0.491	0.026	0.016	0.007	0.554	0.069	0.068	1.167	7.39	0.28	0.54	0.0182
เฉลี่ย										$7.32 \pm .22$	0.29 ± 0.02	0.51 ± 0.04	0.0182 ± 0.003

หมายเหตุ น้ำหนักของกากชีปะ่งสด 50.1 ± 0.1 กรัม

Mg slope = 0.885 Dilution factor = 1.3×10^6

Zn slope = 0.3743 Dilution factor = 4×10^4

K slope = 0.2357 Dilution factor = 8×10^3

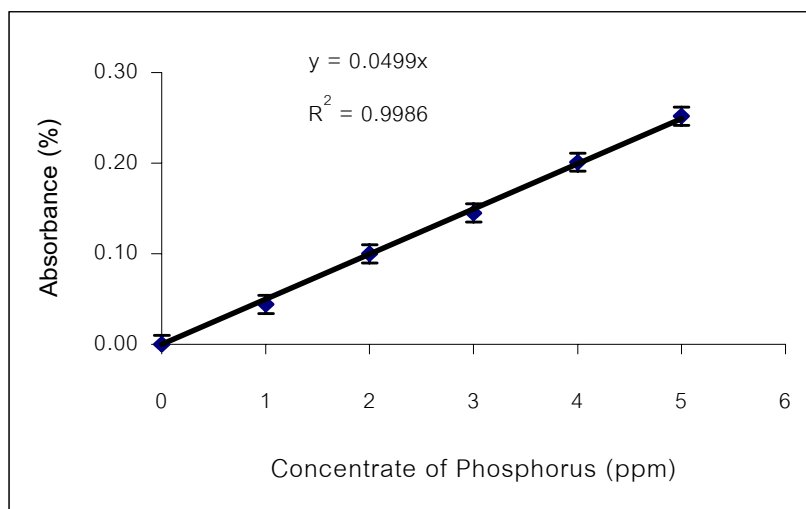
Ca slope = 0.0051 Dilution factor = 1.3×10^2

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณแมกนีเซียมในกากซีเป้งเหลว

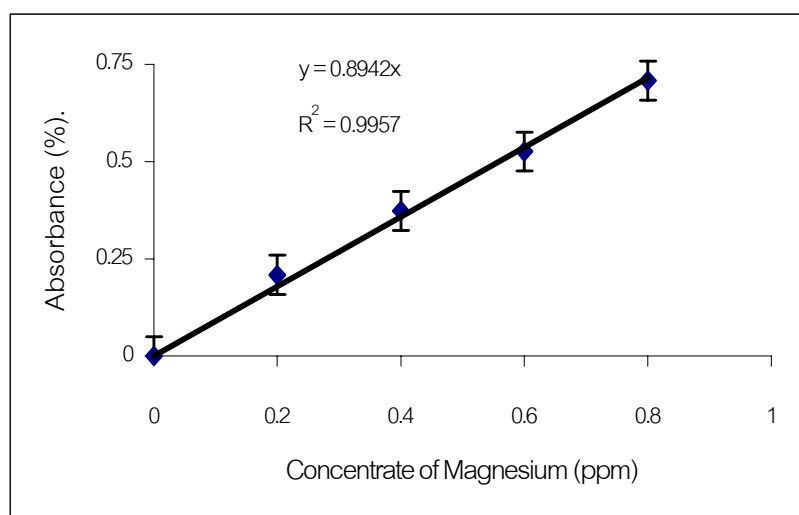
นำกากซีเป้งสด 50.1403 กรัม และน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาผสมให้เข้ากันโดยการกวนอย่างช้าๆ จากนั้นเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำกากซีเป้งเหลวมา 10 มิลลิลิตร มาชั่งจนหมดแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากทำการเจือจางโดยปิเปตจาก 100 มิลลิลิตรมา 0.3 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเจือจางอีกครั้งโดยปิเปตจาก 100 มิลลิลิตร ที่ผ่านการเจือจางแล้ว มา 1.0 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0.465 Abs. เทียบจากกราฟมาตรฐานได้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในกากซีเป้งเท่ากับ 0.525 ppm จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 \text{ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในกากซีเป้ง} &= 0.465 / \text{slope กราฟมาตรฐาน} \\
 &= 0.133 / 0.885 = 0.525 \text{ ppm} \\
 \text{สารละลาย 1000 มิลลิลิตร} &\text{ มีแมกนีเซียม } 0.525 \text{ มิลลิกรัม} \\
 \text{ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร} &\text{ มีแมกนีเซียม} = 100 \times 0.525 / 1000 \\
 &= 0.0525 \text{ มิลลิกรัม} \\
 \text{สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการปิเปตตัวอย่างมา 1.0 มิลลิลิตร} & \\
 \text{ดังนั้น สารละลาย 1.0 มิลลิลิตร} &\text{ มีแมกนีเซียม } 0.0525 \text{ มิลลิกรัม} \\
 \text{ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร} &\text{ มีแมกนีเซียม} = 100 \times 0.0525 / 1 \\
 &= 5.250 \text{ มิลลิกรัม} \\
 \text{สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการปิเปตตัวอย่างมา 3 มิลลิลิตร} & \\
 \text{ดังนั้น สารละลาย 3 มิลลิลิตร} &\text{ มีแมกนีเซียม } 5.250 \text{ มิลลิกรัม} \\
 \text{ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร} &\text{ มีแมกนีเซียม} = 100 \times 5.250 / 3 \\
 &= 175.141 \text{ มิลลิกรัม} \\
 \text{สารละลาย 100 มิลลิลิตรได้จากการชั่งกากซีเป้งเหลว 10 มิลลิลิตร} & \\
 \text{ดังนั้น กากซีเป้งเหลว 10 มิลลิลิตร} &\text{ มีแมกนีเซียม } 175.141 \text{ มิลลิกรัม} \\
 \text{ถ้ากากซีเป้งเหลว 200 มิลลิลิตร} &\text{ มีแมกนีเซียม} = 200 \times 175.141 / 10 \\
 &= 3502.825 \text{ มิลลิกรัม} \\
 \text{เตรียม กากซีเป้งเหลว 200 มิลลิลิตร จากกากซีเป้ง 50.1403 กรัม} & \\
 \text{ดังนั้น กากซีเป้ง 50.1403 กรัม} &\text{ มีแมกนีเซียม } 3.5028 \text{ กรัม} \\
 \text{กากซีเป้ง 100 กรัม} &\text{ มีแมกนีเซียม} = 3.5028 \times 100 / 50.1403 \\
 &= 6.986 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

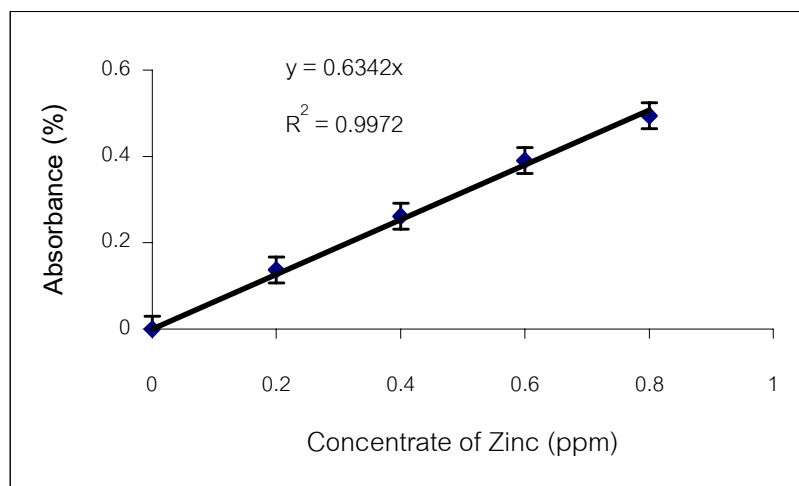
3. กราฟมาตรฐานของธาตุต่างๆ



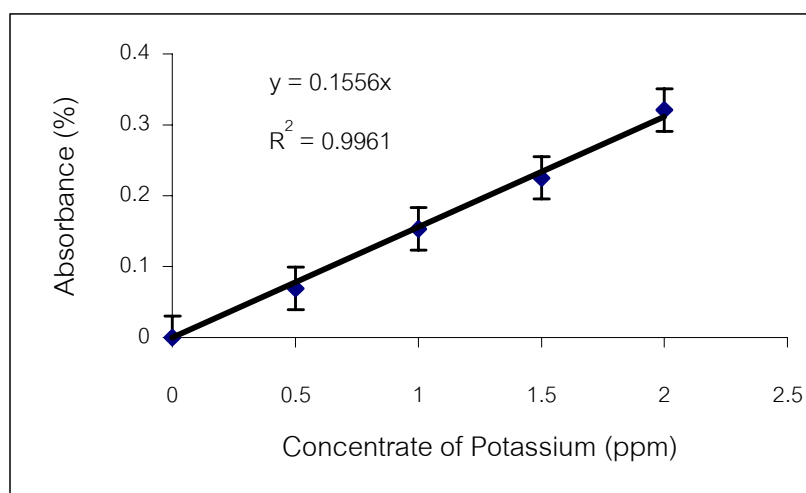
รูปที่ 1 ค่า Abs. ของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ



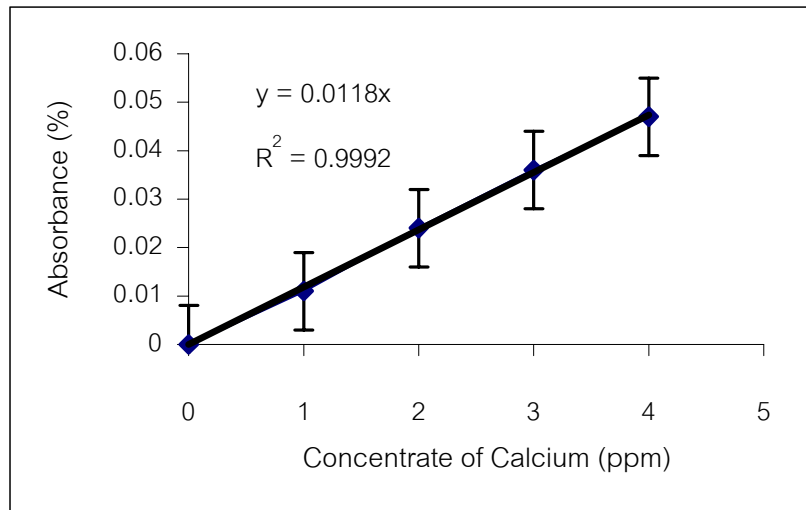
รูปที่ 2 ค่า Abs. ของสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 3 ค่า Abs. ของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4 ค่า Abs. ของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 5 ค่า Absorbent ของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ความเข้มข้นต่างๆ

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบ วัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการ และ ผลที่ได้รับจากโครงการ

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากโครงการ
1. เพื่อศึกษาสมบัติเบื้องต้นของกาก จี้เป่งที่เกิดจากอุตสาหกรรมน้ำ ยางขึ้น	- ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี ของกากจี้เป่ง ได้แก่ 1 Solid Content 2 Volatile Solid 3 pH 4 Density 5 Total Nitrogen (N) 6 Phosphorus ในรูป P_2O_5 7 Potassium ในรูป K_2O 8 Magnesium (Mg) 9 Zinc (Zn) - สกัดกากจี้เป่งด้วยน้ำกลั่นแล้วตรวจสอบปริมาณธาตุที่ถูกสกัดออกมาอยู่ในน้ำ	- เก็บตัวอย่างจากโรงงานน้ำยางขึ้น - ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของกากจี้เป่ง คือ - Solid Content, Volatile Solid และ Density ด้วยวิธี Gravimetric Method - pH ทดสอบด้วยเครื่อง pH - Total Nitrogen ด้วยวิธี Kjeldahl Method - Phosphorus ในรูป P_2O_5 ด้วยวิธี Spectrophotometer Molybdovanado phosphate Method Potassium ในรูป K_2O, Mg และ Zn ด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometric Method - ย่อยกากจี้เป่งและ วิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหาร	- ทราบสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของกากจี้เป่งที่เกิดจากอุตสาหกรรมน้ำยางขึ้น 3 แห่ง คือ Solid Content, Volatile Solid, pH, และ Density มีค่าความแตกต่างกันเล็กน้อย - พบแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ N, P, K, Mg, Zn และ Ca ในกากจี้เป่ง - ธาตุที่เป็นส่วนประกอบในกากจี้เป่งมีความสามารถในการละลายน้ำได้ในปริมาณค่อนข้างต่ำ

2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากจีแป็งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยเหลว	- การเตรียมปุ๋ยเหลวจากกากจีแป็งที่ผ่านการย่อย - ศึกษาลักษณะการละลายของกากจีแป็ง และธาตุที่เป็นองค์ประกอบ	- ย่อยกากจีแป็งด้วยกรดผสม (กรดไนตริกเข้มข้นและกรดฟอสฟอริกเข้มข้นที่อัตราส่วน 100 : 0 , 75 : 25 , 50 : 50 , 25 : 75 และ 0 : 100 โดยปริมาตร) - ตรวจสอบลักษณะของเหลว และส่วนประกอบของธาตุไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบในปุ๋ยเหลวที่ย่อยด้วยกรดผสม - เตรียมปุ๋ยเหลว จากกากจีแป็งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น-	- ทราบสัดส่วนกรดเข้มข้นที่เหมาะสมในการเลือกใช้เตรียมปุ๋ยเหลว - พบว่ากรดไนตริกจะทำปฏิกิริยารุนแรงกับกากจีแป็ง แต่ให้ธาตุไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบอยู่น้อย - พบว่ากรดฟอสฟอริกเข้มข้นสามารถละลายกากจีแป็งได้ มีปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่ปริมาณมากกว่าในน้ำสกัดกากจีแป็ง
---	---	---	---

