

การเตรียมสารละลาย โพแทสเซียมซิลิเกตจากแก้วแกลบ

อรุณ คงแก้ว*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกตจากแก้วแกลบ ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แก้วแกลบและน้ำที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ รวมทั้งศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับแก้วแกลบ โดยเปรียบเทียบผลการใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วน 1/4 1/2 3/4 และ 1 เท่าของน้ำหนักแก้วแกลบ และศึกษาเปรียบเทียบการเตรียมสารที่สภาวะการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 60 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าการเตรียมสารโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3/4 เท่าของน้ำหนักแก้วแกลบ สภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาคือที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ได้ปริมาณสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกตสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 97 แต่ถ้าวัดแก้วแกลบค่าจะได้ปริมาณโพแทสเซียมซิลิเกตน้อยกว่าการใช้แก้วแกลบเท่าคือร้อยละ 50

คำนำ

ซิลิคอน (Si) เป็นธาตุที่มีบนผิวโลกในปริมาณมากเป็นอันดับสอง รองจากออกซิเจน (O₂) โดยปกติพบซิลิคอนทั่วไปทั้งในดิน และพืชต่างๆ ซิลิคอนที่พบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของซิลิคอนไดออกไซด์ หรือซิลิกา (SiO₂) เช่น ผลึกควออตซ์ ททราย แก้ว ซิลิโคน และสารประกอบต่างๆ ที่อยู่ในรูปของเกลือซิลิเกต ที่ประกอบด้วยซิลิคอน ออกซิเจน โลหะ และ

คาร์บอนेट เกลือซิลิเกตมีความหลากหลายด้านองค์ประกอบส่วนหนึ่งเพราะไอออนของโลหะต่างๆ สามารถแทนที่ซึ่งกันและกันได้ ในโครงสร้างผลึก ธาตุที่พบมากที่สุดในสารประกอบซิลิเกต (นอกเหนือจากซิลิคอน) คือ อะลูมิเนียม เหล็ก โทเทเนียม แมกนีเซียม แคลเซียม ลิเทียม แมงกานีส โซเดียม และโพแทสเซียม

สำหรับในพืชโดยทั่วไปพบธาตุซิลิคอนในอัตราร้อยละ 1 ถึง 10 ของน้ำหนักแห้ง หรือมากกว่านั้นในพืชบางชนิด โดยเฉพาะพืชตระกูลหญ้า ได้แก่ พืชกลุ่มข้าว และอ้อย แม้ว่าซิลิคอนจะไม่ใช่อาหารหลัก แต่ก็ยังเป็นธาตุอาหารที่สำคัญ ที่ใช้ในกลไกการสังเคราะห์แสง และการสร้างโครงสร้างของลำต้นและใบพืช การที่พืชได้รับธาตุซิลิคอนในปริมาณที่เพียงพอจะเป็นส่วนสำคัญที่ส่งเสริมในการเจริญเติบโต เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เพิ่มความแข็งแรง และความต้านทานเชื้อรา แมลง และสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ปกติพืชจะได้รับธาตุซิลิคอนจากการดูดน้ำในดิน ซึ่งมีธาตุซิลิคอนละลายอยู่ในรูปของกรดซิลิคอนหรือกรดซิลิซิก (H₄SiO₄) ประมาณ 50 ถึง 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที โดยผ่านการดูดซึมทางราก เมื่อซึมเข้าไปในเซลล์ของพืชจะถูกลำเลียงไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช จากนั้นจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบซิลิกาที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้ผนังเซลล์ของพืชแข็งแรง จนเปลี้ย หนอน ไร รา เข้าทำอันตรายได้ยากขึ้น ทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพดี โดยเฉลี่ยพืช

* นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ สำนักเทคโนโลยีชุมชน

จะดูดธาตุซิลิคอนจากดินประมาณ 6.4 - 48 กิโลกรัมต่อไร่ การปลูกพืชชนิดเดียวซ้ำซากเป็นเวลานาน โดยเฉพาะพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ข้าว อ้อย ฯลฯ อาจทำให้ปริมาณซิลิคอนที่อยู่ในดินที่สามารถละลายตัวมาอยู่ในรูปแบบที่ละลายน้ำได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช เนื่องจากซิลิคอนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ หรือเกลือซิลิเกต ที่ต้องใช้เวลานานในการเปลี่ยนรูปให้เป็นสารประกอบชนิดที่ละลายน้ำ มีผลทำให้พืชได้รับปริมาณซิลิคอนที่ต่ำ จนทำให้โครงสร้างของลำต้นพืชอ่อนแอ ตกเป็นเป้าทำลายของโรคและแมลง และนี่คือความสำคัญของสารซิลิคอนในวัฏจักรการเจริญของพืช จึงมีการใช้ซิลิคอนในการเกษตรกันอย่างกว้างขวางเป็นเวลานานแล้ว โดยเฉพาะการเกษตรในกลุ่มประเทศที่เจริญแล้ว ซึ่งต้องการผลผลิตต่อไร่สูง ๆ เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี อเมริกา ฯลฯ แต่สารประกอบซิลิคอนเหล่านั้นเป็นแร่จากหินภูเขาไฟ หรือเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม ซึ่งการควบคุมสิ่งเจือปนทำได้ในปริมาณที่จำกัด ในประเทศไทยเริ่มมีการใช้สารซิลิคอนในทางการเกษตรมากขึ้น และมีการจำหน่ายสารซิลิคอนหรือกรดซิลิคอนกันอย่างแพร่หลาย

ปัจจุบันประเทศไทยมีการนำสารประกอบซิลิเกตมาใช้กับพืชมากขึ้น เนื่องจากสารประกอบซิลิเกต สามารถละลายน้ำให้สารละลายซิลิคอนที่เรียกว่า กรดซิลิคอน หรือกรดซิลิสิก ซึ่งสารที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันคือ โฟแทสเซียมซิลิเกต นอกจากให้ซิลิคอนที่ละลายน้ำแล้ว ยังมีธาตุอาหารหลักของพืชคือโพแทสเซียมรวมอยู่ด้วยและมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี จากข้อมูลทางวิชาการเกี่ยวกับโพแทสเซียมซิลิเกต พบว่าสามารถเตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมคาร์บอเนตหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับวัตถุดิบที่มีซิลิกาสูง (US 4,293,523) และจาก US 2,784,060 อัตราส่วนซิลิกาต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ดีที่สุดในการเตรียมโพแทสเซียมซิลิเกตคือ 2.15 : 1 ถึง 2.25 : 1 ที่อุณหภูมิในการผลิต 95 - 98 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา 4.5 - 5 ชั่วโมง และจากการศึกษาวิจัยนำวัสดุทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าของกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี พบว่าในแก้วกลบมีปริมาณซิลิกาสูงและแหล่งของแก้วกลบมีมาก

เช่น จากโรงไฟฟ้าชีวมวล โรงสี เป็นต้น ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการผลิตโพแทสเซียมซิลิเกตจากแก้วกลบ โดยศึกษาสภาพที่เหมาะสมและเทคนิคกระบวนการผลิตเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในภาคการเกษตรของประเทศ

วิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบและสารเคมี

- 1.1 แก้วกลบดำ
- 1.2 แก้วกลบเทา
- 1.3 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
- 1.4 น้ำกลั่น

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1 เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (XRF) Bruker รุ่น S8 Tiger
- 2.2 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
- 2.3 เครื่องกวน
- 2.4 ชุดทำปฏิกิริยา
- 2.5 เตาอบ
- 2.6 เตาเผา

3. การเตรียมตัวอย่าง

- 3.1 แก้วกลบดำ เตรียมโดยการเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิห้อง
- 3.2 แก้วกลบเทา เตรียมโดยการเผาในเตาเผาที่ปล่อยให้อากาศเข้าไประหว่างการเผา
- 3.3 นำแก้วกลบดำ และแก้วกลบเทา มาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh)

4. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกต

- 4.1 การวิเคราะห์ห้องประกอบทางเคมีของแก้วกลบดำและแก้วกลบเทา โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์
- 4.2 การศึกษาชนิดของวัตถุดิบและเวลาในการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกต



4.2.1 ชั่งแก้วกลบดำ 100 กรัม ใส่ในชุดทำปฏิกิริยา และชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 100 กรัม เทใส่ชุดทำปฏิกิริยาที่มีแก้วกลบ แล้วเติมน้ำลงไป 1 ลิตร

4.2.2 นำชุดทำปฏิกิริยาจากข้อ 4.2.1 วางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง โดยระหว่างทำปฏิกิริยาทำการกวน (stir) ตลอดเวลา

4.2.3 นำสารละลายที่ได้ไปกรองในขณะร้อน ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และนำสารละลายที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ละลายอยู่ โดยการนำไประเหยน้ำจนแห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสจนกระทั่งน้ำหนักคงที่

4.2.4 ทำซ้ำข้อ 4.2.1 - 4.2.3 แต่แปรผัน (varies) เวลาในการเตรียมเป็น 2 3 4 และ 6 ชั่วโมง

4.2.5 ทำซ้ำข้อ 4.2.1 - 4.2.4 แต่เปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบจากแก้วกลบดำเป็นแก้วกลบเทา

4.3 การศึกษาอุณหภูมิในการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกต

4.3.1 ชั่งแก้วกลบเทา 100 กรัม ใส่ในชุดทำปฏิกิริยา และชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 100 กรัม เทใส่ชุดทำปฏิกิริยาที่มีแก้วกลบ แล้วเติมน้ำลงไป 1 ลิตร

4.3.2 นำชุดทำปฏิกิริยาจากข้อ 4.3.1 วางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง โดยระหว่างทำปฏิกิริยาทำการกวนตลอดเวลา

4.3.3 นำสารละลายที่ได้ไปกรองในขณะร้อน ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และนำสารละลายที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ละลายอยู่ โดยการนำไประเหยน้ำจนแห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสจนกระทั่งน้ำหนักคงที่

4.3.4 ทำซ้ำข้อ 4.3.1 - 4.3.3 แต่แปรผันอุณหภูมิในการเตรียมเป็นอุณหภูมิ 60 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส

4.4 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับแก้วกลบเทา ในการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกต

4.4.1 ชั่งแก้วกลบเทา 100 กรัม ใส่ในชุดทำปฏิกิริยา และชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 25 กรัม เทใส่ชุดทำปฏิกิริยาที่มีแก้วกลบ แล้วเติมน้ำลงไป 1 ลิตร

4.4.2 นำชุดทำปฏิกิริยาจากข้อ 4.4.1 วางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง โดยระหว่างทำปฏิกิริยาทำการกวนตลอดเวลา

4.4.3 นำสารละลายที่ได้ไปกรองในขณะร้อน ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และนำสารละลายที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ละลายอยู่ โดยการนำไประเหยน้ำจนแห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสจนกระทั่งน้ำหนักคงที่

4.4.4 ทำซ้ำข้อ 4.4.1 - 4.4.3 แต่แปรผันปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการเตรียมเป็น 50 75 และ 100 กรัม

ผลการทดลอง

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแก้วกลบดำ และแก้วกลบเทา โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแก้วกลบดำ และแก้วกลบเทา ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าแก้วกลบดำ และแก้วกลบเทา มีองค์ประกอบหลักคือซิลิกา โดยแก้วกลบเทามีปริมาณซิลิกามากกว่าแก้วกลบดำคือร้อยละ 92.3 และ 86.9 ตามลำดับ

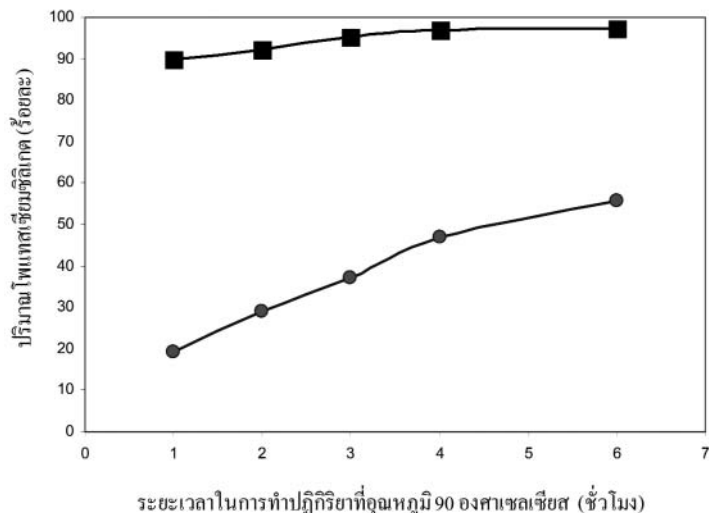


ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบดำ และเถ้าแกลบเทา

องค์ประกอบทางเคมี		เถ้าแกลบดำ	เถ้าแกลบเทา
ซิลิกา (SiO ₂)	ร้อยละ	86.9	92.3
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	ร้อยละ	0.19	0.21
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	ร้อยละ	0.10	0.11
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	ร้อยละ	2.15	2.18
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	ร้อยละ	1.00	1.02
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	ร้อยละ	0.42	0.44
ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P ₂ O ₅)	ร้อยละ	0.42	0.44
ซัลเฟอร์ไดโตรออกไซด์ (SO ₂)	ร้อยละ	0.17	0.17
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	ร้อยละ	0.48	0.51
น้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผา ที่ 1000 องศาเซลเซียส	ร้อยละ	7.82	2.61

2. การศึกษาชนิดของวัสดุและเวลาในการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกต

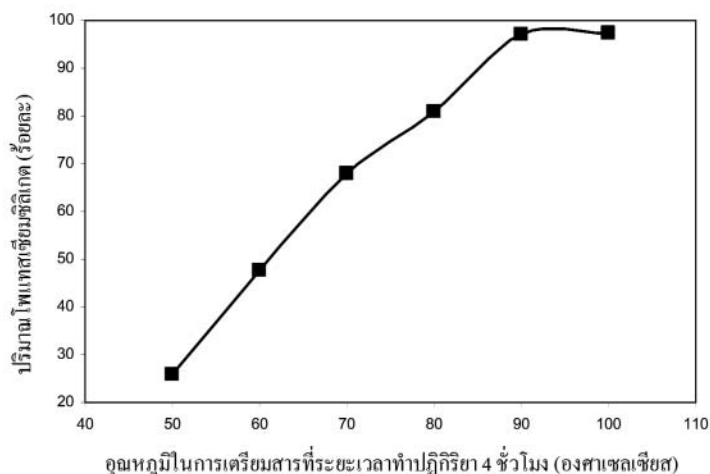
จากการทดลองพบว่า เถ้าแกลบเทาสามารถเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกตได้ปริมาณที่มากกว่าการใช้เถ้าแกลบดำ ที่เวลาในการเตรียมเท่ากัน และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่นานขึ้นก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น โดยจะคงที่เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเข้าสู่ช่วงที่ 4 และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้คิดเป็นร้อยละ 97 (ดังแสดงในภาพที่ 1) ทั้งนี้ผลการทดลองสอดคล้องและเป็นไปตามผลการทดลองข้อ 1 ที่พบว่าเถ้าแกลบเทามีปริมาณซิลิกามากกว่าเถ้าแกลบดำ



ภาพที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมซิลิเกตที่ได้กับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาโดยใช้เถ้าแกลบดำและเถ้าแกลบเทา (● เถ้าแกลบดำ ■ เถ้าแกลบเทา)

3. การศึกษาอุณหภูมิในการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกต

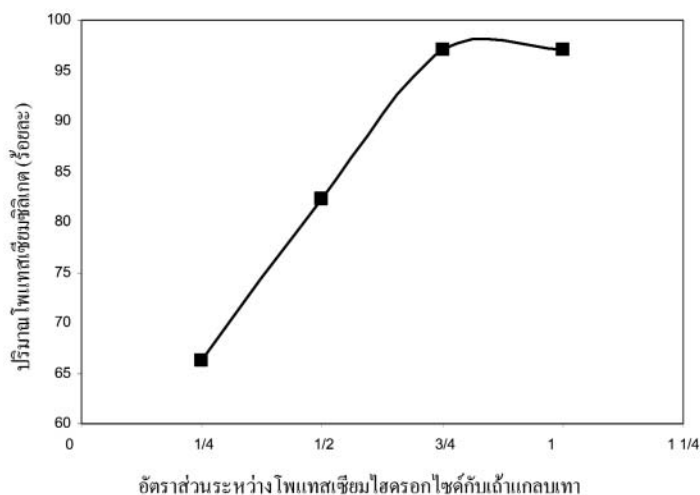
ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกต พบว่าปริมาณโพแทสเซียมซิลิเกตเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มปริมาณโพแทสเซียมซิลิเกตคงที่เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส โดยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้คิดเป็นร้อยละ 97 (ดังแสดงในภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมซิลิเกตที่ได้กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียม

4. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับถ้ำแคลบเทา ในการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกต

ผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับถ้ำแคลบเทา พบว่าปริมาณโพแทสเซียมซิลิเกตจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มปริมาณคงที่ที่อัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อถ้ำแคลบเทาเท่ากับ 3 ต่อ 4 โดยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้คิดเป็นร้อยละ 97 (ดังแสดงในภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมซิลิเกตที่ได้กับอัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อถ้ำแคลบเทา



วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกตพบว่าหากใช้เถ้าแกลบดำจะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่น้อยกว่าใช้เถ้าแกลบเทา ถึงแม้จะเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาแล้วก็ตาม ผลเนื่องมาจากปริมาณของซิลิกาที่น้อยกว่าและปริมาณคาร์บอนที่เหลืออยู่ของเถ้าแกลบดำที่สูงกว่า ซึ่งพิจารณาจากค่าของน้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผาที่มากกว่า จึงทำให้การทำปฏิกิริยาระหว่างซิลิกากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ของเถ้าแกลบดำได้ไม่ดี

ผลของอุณหภูมิในการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกต พบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้การทำปฏิกิริยาระหว่างเถ้าแกลบเทากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ได้ดีขึ้น สำหรับอัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับเถ้าแกลบเทาพบว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และจะคงที่ที่อัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อเถ้าแกลบเทาเท่ากับ 3 ต่อ 4 เนื่องจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับเถ้าแกลบเทาได้พอดีที่อัตราส่วนดังกล่าว

และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับข้อมูลจาก US 2,784,060 ที่กล่าว อัตราส่วนของซิลิกาต่อโพแทสเซียม

ไฮดรอกไซด์ที่ดีที่สุดในการเตรียมโพแทสเซียมซิลิเกตคือ 2.15 : 1 ถึง 2.25 : 1 ที่อุณหภูมิในการผลิต 95 - 98 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา 4.5 - 5 ชั่วโมง แต่จากการทดลองจะพบว่าอัตราส่วนของซิลิกาต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ดีที่สุดคือ 4 : 3 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิต 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้วัตถุดิบที่ต่างกัน

สรุปผลการทดลอง

การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกตจากเถ้าแกลบเทาจะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์มากกว่าเถ้าแกลบดำที่เวลาและอุณหภูมิในการเตรียมเดียวกัน โดยการเตรียมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 4 ชั่วโมงได้สารละลายโพแทสเซียมซิลิเกต ร้อยละ 97 และอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3 ส่วน กับเถ้าแกลบเทา 4 ส่วน จึงสรุปได้ว่าเถ้าแกลบสามารถนำมาเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกต โดยใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ไม่สูงและใช้เวลาในการเตรียมไม่นาน การวิจัยนี้เป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุทางการเกษตรและการนำวัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์



..... เอกสารอ้างอิง

- ซิลิคอน. 2554. [ออนไลน์]. [อ้างถึงวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554]. เข้าถึงได้จาก:http://www.siamgreensil.com/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid=1.
- ซิลิคอน. 2554. [ออนไลน์]. [อ้างถึงวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554]. เข้าถึงได้จาก:http://www.siamgreensil.com/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=58.
- ศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของกรดซิลิลิคที่ได้จากซีเถ้าแกลบ และอิทธิพลของกรดซิลิลิคที่ได้จากซีเถ้าแกลบที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นผักคะน้า. 2546. [ออนไลน์]. [อ้างถึงวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554]. เข้าถึงได้จาก:http://nakhamwit.ac.th/pingpong_web/PDF/Re_3.pdf.
- สารเพิ่มผลผลิตซิลิคอนไวท์. 2554. [ออนไลน์]. [อ้างถึงวันที่ 13 มีนาคม 2554]. เข้าถึงได้จาก:http://www.kasetnumchok.com/Information/Voga_mineral_supplement_Thai.pdf.
- สุทธิพงศ์ ถินเขาน้อย. ชาวสวนมะพร้าวทับสะแกพอใจกรดซิลิคอน ช่วยเพิ่มผลผลิต รสหวานต้านแมลง. **วารสารสร้างเงินสร้างงาน**. กุมภาพันธ์, 2554, ปีที่ 7, ฉบับที่ 081, หน้า 43-45.
- Hiroshi, Segawa and Katsufumi, Akizuki. Apparatus for producing potassium silicate fertilizer. Int. Cl. C05D1/00. **U.S. Patent 4,293,523**. 1981-10-06. p.1-7.
- Potassium silicate 2554. [Online]. [cite dated 10 January 2011] Available from internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Potassium_silicate
- Potassium silicate 2554. [Online]. [cite dated 10 January 2011] Available from internet: <http://www.sarep.ucdavis.edu/Organic/tap/Potassiumsilicate.pdf>
- Potassium silicate 2554. [Online]. [cite dated 10 January 2011] Available from internet:<http://www.ptac.org/drl/dl/drlf0201k.pdf>
- Santmyers, Donald. Process for preparing a potassium silicate solution. Int. Cl. C01B33/32. **U.S. Patent 2,784,060**. 1957-03-05 . p.1-3.

