

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการเพาะปลูกข้าวเป็นอาชีพหลัก ในแต่ละปีจะมี แกลบข้าวเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยประมาณ 4-5 ล้านตันต่อปี แกลบบางส่วนนำมาเผา แล้วนำไปผสมดินเพื่อใช้สำหรับเตรียมดินในแปลงเพาะชำพืชต่างๆ บางส่วนจะนำไปใช้ประโยชน์ ในการเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิง ในครัวเรือน โรงสีข้าว โรงงานอุตสาหกรรม หรือโรงงานไฟฟ้าชีวมวล อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะได้พลังงานความร้อนจากการเผาแกลบ ก็ยังคงเหลือแกลบที่ยังไม่ได้ นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า ซึ่งส่วนใหญ่ยังคงเป็นวัสดุเหลือทิ้งเช่นเดิม

โดยปกติแล้วองค์ประกอบของแกลบข้าวจะประกอบไปด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือซิลิกาประมาณ 20-25% สารอินทรีย์ประเภทเซลลูโลส 75-80 % และสิ่งเจือปนพวกโลหะ ออกไซด์อีกเล็กน้อย เมื่อนำแกลบข้าวไปเผาจะได้แกลบซึ่งประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ ประมาณ 80-90% หรือมากกว่านั้นหากผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์สูง ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้ จากแกลบที่มีความบริสุทธิ์สูงจะเป็นสารตั้งต้น สำหรับการเตรียมซิลิกอนที่ใช้ในการทำ เซลล์แสงอาทิตย์ แอชซิลิกา (rice husk ash silica) ที่ได้จากแกลบข้าวจะมีองค์ประกอบแตกต่างกัน ไปตามแหล่งเพาะปลูกข้าว องค์ประกอบที่แตกต่างซึ่งเป็นส่วนผสมในแอชซิลิกาดังกล่าว อาจ เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สมบัติหลายอย่างของแอชซิลิกาเกิดขึ้น หรือเปลี่ยนแปลงไป เช่น สมบัติทาง ฟิสิกส์ ทางเคมี หรือ โครงสร้าง

กะลามะพร้าว เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง เมื่อนำมาเผาที่ อุณหภูมิประมาณ 400-500 องศาเซลเซียสในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย จะได้ปริมาณคาร์บอนคงตัว มากกว่า 70% ถ่านคาร์บอนจากกะลามะพร้าวในขณะที่เผา เมื่อผ่านไอน้ำอุณหภูมิสูงจะทำให้มี สภาพเป็นถ่านกัมมันต์(activated carbon) ซึ่งมีประโยชน์สำหรับเป็นตัวดูดซับ หรือกรองสาร นอกจากนี้การสังเคราะห์วัสดุยุคใหม่บางชนิด สามารถนำคาร์บอนมาใช้เป็นตัวกระตุ้นหรือเร่ง ปฏิกิริยา จะเห็นได้ว่ามูลค่าของวัตถุดิบและมูลค่าเมื่อผลิตเป็นสินค้าแล้วจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ประเทศอย่างมาก

ซิลิกอนไดออกไซด์เป็นสารที่มีอยู่เป็นจำนวนมากบนโลก เช่น ในรูปของทราย หินหรือ ควอทซ์ นำมาใช้ทำประโยชน์อย่างมากมาย เช่น อุตสาหกรรมแก้ว หรือกระจก หรือใช้เป็นส่วนผสมในโครงสร้างของวัสดุต่างๆ สมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ สมบัติทางแสง ซึ่งมีความสำคัญมากต่องานด้านการสื่อสารคมนาคม เทคโนโลยีสารสนเทศ เส้นใยแสง เป็นต้น

ซิลิกอนเป็นธาตุที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์มากที่สุดธาตุหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ วงจรไอซี(IC) คอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีด้านพลังงาน และเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ โดยปกติซิลิกอนที่ผลิตเชิงการค้าจะเตรียมได้จากกระบวนการเผาซิลิกอนไดออกไซด์ร่วมกับคาร์บอนโดยเตาไฟฟ้าความร้อนสูง(มากกว่า 1800 องศาเซลเซียส) ใช้พลังงานค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามการผลิตซิลิกอนจากทรายหรือหินควอทซ์ยังมีสิ่งเจือปนค่อนข้างสูง และกำจัดออกไปได้ยาก การเตรียมซิลิกอนเพื่อผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องการซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์สูง การเตรียมซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์สูงสามารถเตรียมได้จากซิลิกาจากถ้ำเกลือที่มีกระบวนการไม่ซับซ้อน และมีวิธีการกำจัดสิ่งเจือปนที่ค่อนข้างง่ายและสะดวกกว่า นอกจากนี้ยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเพิ่มคุณค่าและมูลค่าให้สูงขึ้น และใช้เป็นแนวทางการพัฒนาวัสดุเหลือทิ้งชนิดอื่นได้อีกด้วย โดยเฉพาะสิ่งสำคัญยิ่งอีกประการก็คือเป็นการรักษาสมดุลของสภาพแวดล้อม เพราะวัสดุที่นำมาใช้สังเคราะห์เป็นวัสดุที่ได้มาจากผลผลิตที่เกิดตามธรรมชาติอยู่แล้วนั่นเอง ซึ่งหากยังมีการเตรียมซิลิกอนจากทรายหรือหินควอทซ์จะเป็นการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ เสมือนเป็นการทำลายความสมดุลของทรัพยากร ที่มีอยู่ตามธรรมชาติให้หมดลงไป นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดฝุ่นละอองมลภาวะในอากาศเพิ่มขึ้น

จึงเห็นได้ว่าหากการดำเนินงาน โครงการนี้ประสบความสำเร็จจะเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรและลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในประเทศ การพัฒนางานทางด้านนี้ จึงถือเสมือนเป็นส่วนสำคัญต่อการพัฒนาประเทศที่จะสามารถแข่งขันและทันต่อการเปลี่ยนแปลงวิทยาการของโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำซิลิกอนโซลาร์เซลล์ คอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์

1.2 ทฤษฎีและกรอบคิดของโครงการวิจัย

ในช่วงระยะเวลา 50 ปีที่ผ่านมา ซิลิกอน เป็นหนึ่งในวัสดุ ที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ ซิลิกอนที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์จะต้องมีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งเรียกซิลิกอนดังกล่าวว่า metallurgical-grade silicon ซึ่งอาจผลิตได้จากกระบวนการ carbothermic reduction โดยการเผาควอทซ์(ซิลิกอนไดออกไซด์ หรือซิลิกา) ร่วมกับ คาร์บอนในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย ในเตาไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิสูง โดยปฏิกิริยาทางเคมีในเตาความร้อนเป็นไปตามสมการ $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$ ซึ่งปรากฏเป็นปฏิกิริยาอย่างง่าย ๆ แต่จะซับซ้อนในขั้นตอนของการผสมผสานวัสดุและความแตกต่างของอุณหภูมิที่ใช้ในเตาเผา[Gunnar and Thomas 1984, Cahn et. al. 1996] การผลิตซิลิกอนยังสามารถเตรียมได้จากกระบวนการ metallothermic process เป็นกระบวนการที่คล้ายคลึงกับกระบวนการ carbothermic reduction แต่เป็นการเผาซิลิกอนไดออกไซด์ร่วมกับโลหะชนิดต่างๆในเตาความร้อนสูง เช่น ในการผลิตแทนทาลัม (Tantalum, Ta) จะเผาเกลือของแทนทาลัม จำพวกโพแทสเซียมเฮปตาฟลูออโรแทนทาล

(heptafluorotantalate, K_2TaF_7) ร่วมกับโลหะโซเดียมเหลว(liquid sodium, diluents) ที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส แสดงได้ตามสมการเคมี $K_2TaF_7(l) + 5Na(l) \rightarrow Ta(s) + 5NaF(l) + 2KF(l)$ ผลจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีจะได้โลหะแทนทาลัมในรูปของผงแป้งเกิดขึ้น [3Okabe and Sadoway 1998, Zhu and Sadoway 2001]

สารกึ่งตัวนำมีสมบัติการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวน ก็มีความต้านทานมากกว่าตัวนำแต่น้อยกว่าฉนวน สารกึ่งตัวนำที่มีการนำมาใช้งานมากคือ เจอร์มาเนียม(Ge)และซิลิกอน(Si) ซึ่งอยู่ในกลุ่มธาตุหมู่ IV สำหรับซิลิกอนจะมีอิเล็กตรอนในวงโคจรทั้งหมด 14 ตัว มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัวแต่ละอะตอมจะจับกันแบบพันธะโควาเลนต์(covalent bond) กับอะตอมที่อยู่ใกล้ 4 อะตอม โดยที่ซิลิกอนจะมีความกว้างของแถบพลังงานต้องห้าม(forbidden energy gap) ประมาณ 1.12 eV หากวาเลนซ์อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ได้รับพลังงานมากพอจะหลุดออกจากพันธะข้ามแถบพลังงานต้องห้าม มายังแถบการนำกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ส่วนพันธะที่ขาดอิเล็กตรอนจะเกิดเป็นหลุมหรือโฮล(hole)ที่มีประจุบวก อิเล็กตรอนอิสระและโฮลจะเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำดังกล่าวเรียกว่า สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (intrinsic semiconductor) เนื่องจากอุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อการเกิดของอิเล็กตรอนและโฮลของสารกึ่งตัวนำทำให้ความสามารถในการนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ไม่แน่นอน ดังนั้นถ้าจะนำสารกึ่งตัวนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ จะต้องควบคุมการนำไฟฟ้าของสารให้เกิดความแน่นอน โดยการเจือหรือโด๊ป(dope) สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ด้วยสิ่งเจือปน (impurities) ซึ่งจะทำให้เกิดสารกึ่งตัวนำได้ 2 ประเภทคือ สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น(N-type semiconductor) ซึ่งจะเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีอิเล็กตรอนมากกว่าโฮล และสารกึ่งตัวนำชนิดพี(P-type semiconductor) ซึ่งจะเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีโฮลมากกว่าอิเล็กตรอน เมื่อนำสารกึ่งตัวนำมาโด๊ปด้วยสิ่งเจือปนทั้งชนิดเอ็นและชนิดพี หรือนำสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดมาต่อกันด้วยวิธีการหนึ่ง จะทำให้เกิดรอยต่อที่เรียกว่า รอยต่อพีเอ็นจังก์ชัน(P-N junction) ตรงรอยต่อระหว่างพีกับเอ็น จะเกิดการแพร่กระจายของโฮลข้ามจากพีไปเอ็น และอิเล็กตรอนอิสระข้ามจากเอ็นไปพี โดยการแลกเปลี่ยนนี้จะทำให้อันพีที่ติดกับรอยต่อเป็นลบ และทางด้านเอ็นที่ติดกับรอยต่อเป็นบวก ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นในบริเวณนี้ โดยมีทิศชี้จากเอ็นไปพี และเอ็นมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่ากว่าพี ความต่างศักย์ไฟฟ้านี้จะมีทิศทางการต้านการข้ามของโฮลในพี และของอิเล็กตรอนในเอ็น ในทำนองเดียวกัน สนามไฟฟ้านี้จะดึงอิเล็กตรอนส่วนน้อยในพี และโฮลส่วนน้อยในเอ็นให้ข้ามรอยต่อนี้ได้ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น หลักการที่กล่าวถึงข้างต้นจะนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดการนำกระแสไฟฟ้าของเซลล์สุริยะ โดยกระบวนการโฟโตโวลตาอิก(photovoltaic effect) ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า[Kittel 1996]

แกลบข้าวหรือเปลือกข้าวซึ่งได้จากการสีข้าว ในสมัยก่อนถือเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตร ในแต่ละปีจะมีแกลบข้าวหลังการสีข้าวประมาณมากกว่า 4-5 ล้านตัน คิดเป็นเงินมากกว่า 1,000 ล้านบาท แกลบข้าวบางส่วนถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการเตรียมดินสำหรับเพาะชำพืช ทำเชื้อเพลิง ผสมดินทำเป็นอิฐก่อสร้าง หรือส่วนผสมของซีเมนต์บางชนิด บางส่วนนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภท และมีบางส่วนที่ถูกทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์เป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปแล้วแกลบข้าวหรือเปลือกข้าวจะประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2) หรือซิลิกา ประมาณ 15-20% โดยน้ำหนัก เมื่อนำไปเผาจะได้เถ้าแกลบที่ประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์มากกว่า 95% ของน้ำหนัก[Lee and Cutler 1975] นอกจากนี้แกลบข้าว ยังประกอบไปด้วยสารอินทรีย์และสิ่งเจือปนโลหะหรือออกไซด์โลหะจำพวก Ca, Mg, Mn, Fe และ Al, Cu, Na, B และอื่นๆ อีกในปริมาณน้อยมาก องค์ประกอบเหล่านี้ของแกลบข้าวอาจขึ้นอยู่กับสภาพท้องถิ่น และการเพาะปลูกแบบต่างๆ การลดปริมาณสิ่งเจือปนโลหะสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น ล้าง แช่ว หรือ ต้มแกลบข้าวด้วยสารละลายกรด แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น เมื่อนำแกลบที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวไปเผาจะได้เถ้าซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูง[Amick 1982] ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ โดยเฉพาะถ้าทำให้ซิลิกอนไดออกไซด์เปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปของ ธาตุซิลิกอน(Si)บริสุทธิ์ เช่น ที่ใช้สำหรับผลิตเซลล์สุริยะ (solar-grade silicon)[Hunt et. al. 1984] แกลบที่เผาด้วยกระบวนการ pyrolysis ในบรรยากาศที่ปราศจากกาซออกซิเจนจะทำให้ได้วัสดุใหม่ที่มีคุณค่าอย่างมากมาย เช่น Si_3N_4 , SiCl_4 , หรือ SiC เป็นต้น[Liou et. al. 1996] เถ้าแกลบที่ถูกนำมาต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1N นาน 1 ชั่วโมง สารละลายที่ได้จะเป็นสารละลายของโซเดียมซิลิเกต [Kalapathy et. al. 2000] เถ้าซิลิกาที่อุณหภูมิ 573 K จะถูกนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสารละลายเกลือกำมะถันยูเรียที่มีแร่ทองคำเป็นองค์ประกอบ[Chandrasekhar et. al. 2003] แกลบที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรลิกความเข้มข้น 4-12 N อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส เวลา 1-12 ชั่วโมง เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 700 องศาเซลเซียสเพื่อหลีกเลี่ยงจากการเปลี่ยนโครงสร้างจากออสฐานเป็นผลึก จะได้เถ้าแกลบที่มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ประมาณมากกว่า 99% [Patel et. al. 1987] การเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 700 องศาเซลเซียสแสดงให้เห็นว่ากรดไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากเถ้าแกลบ[Chakraverty et. al. 1988] แกลบที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 12% นาน 2 ชั่วโมง แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่น อบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียสในเตาอบ จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของกาซเฉื่อย หลังจากนั้นทำการเผาในบรรยากาศของกาซออกซิเจนเพื่อกำจัดคาร์บอนที่ยังเหลืออยู่ด้วยอุณหภูมิเดียวกัน ขนาดของอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากเถ้าแกลบ จะมีลักษณะเป็นอนุภาคนาโนที่มีการกระจายตัวอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอและ โมเลกุลมีโครงสร้างแบบออสฐาน[Real et. al. 1996] การเผาแกลบข้าวระหว่างอุณหภูมิ 900-1,350 °C ในช่วงเวลาต่างๆ จะสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเถ้าซิลิกาจากออสฐาน(amorphous) ไปเป็นผลึก

Tridymite และผลึก Cristobalite [Shinohara and Kohyama 2004] แกลบที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริก 2.4M หรือ กรดซัลฟูริก นาน 3 ชั่วโมง หรือแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1M นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาเป็นถ้ำแกลบ โครงสร้างของถ้ำซิลิกาจะมีลักษณะเป็นชั้นซับซ้อนแต่ละหน่วย มีขนาดน้อยกว่า 100 nm [Conradt et. al. 1992] การผลิตธาตุซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์จากถ้ำแกลบสามารถทำได้โดยกระบวนการที่เรียกว่า metallothermic process โดยการเผาถ้ำซิลิกาพร้อมกับโลหะชนิดต่างๆ จากรายงานการวิจัยของ Banerjee และ Sen [Banerjee and Sen 1982] พบว่า เมื่อเผาถ้ำซิลิกาพร้อมกับแมกนีเซียม และแมกนีเซียมออกไซด์ ที่อุณหภูมิประมาณ 550 °C หลังจากผ่านการกำจัดสิ่งเจือปนชนิดต่างๆออกไป จะได้ซิลิกอนในรูปของผงแป้งมีความบริสุทธิ์ประมาณ 99 % Bose และคณะ [Bose et. al. 1982] ใช้ผงแมกนีเซียมเผาพร้อมกับถ้ำซิลิกาที่อุณหภูมิ 600-650 °C หลังผ่านการกำจัดสิ่งเจือปนด้วยกรด HCl แล้วตามด้วย กรด HF ร่วมกับกรด H₂SO₄ จะได้ผงซิลิกอนที่มีขนาดของเกรนประมาณ 10 µm มีความบริสุทธิ์ประมาณ 99.5 % เมื่อนำผงซิลิกอนที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 1,410 °C ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน จะได้ก้อนผลึกซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าเดิม Mishra และคณะ [Mishra et. al. 1985] รายงานว่าเมื่อเผาถ้ำซิลิกาพร้อมกับแคลเซียมที่อุณหภูมิ 720 °C หลังผ่านกระบวนการแช่ชะล้างสิ่งเจือปนด้วยกรด HNO₃ และ กรด HF จะได้ซิลิกอนบริสุทธิ์ประมาณมากกว่า 99 % Ikram และ Akhter [Ikram and Akhter 1988] ใช้แมกนีเซียมที่มีความบริสุทธิ์สูง 4 N เผาพร้อมกับถ้ำซิลิกาในเตาที่พันด้วยขดลวดความร้อน ที่อุณหภูมิ 620 °C หลังจากนั้นชะล้างสิ่งเจือปนด้วยกรด HCl ตามด้วยกรด HF แล้วตามด้วยกรด HF + H₂SO₄ อีกครั้ง จะได้ผลึกเชิงซ้อนของซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์ประมาณ 99.95 % นอกจากนี้ซิลิกอนจากถ้ำแกลบสามารถเตรียมได้จากกระบวนการ metallothermic reduction โดยการเผาถ้ำซิลิกาพร้อมกับ อลูมิเนียมและแบเรียมที่อุณหภูมิและช่วงเวลาต่างๆ ซิลิกอนจากถ้ำแกลบข้านอกจากจะใช้เป็นสารตั้งต้นในการสร้างเซลล์สุริยะแล้ว ยังใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมวัสดุชนิดใหม่ (new materials) เช่น ซิลิกอนคาร์ไบด์ ซิลิกอนไนไตรด์ ซีโอไลท์ และ ซิลิกอนเตตระคลอไรด์ เป็นต้น [Sun and Gong 2001] ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหากการดำเนินงานโครงการบรรลุวัตถุประสงค์จะเป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและต่อเนื่องกันต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำ ผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

สังเคราะห์ซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์สูงจากถ้ำแกลบ โดยใช้ถ่านกะลามะพร้าวเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

1. สรุปรายงานการวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร

2. เพิ่มมูลค่าและคุณค่าของวัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตรได้
3. เป็นแนวทางพัฒนาอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง หรือการผลิตเพื่อการค้า เช่น silicon solar cell, technology semiconductor, electronics, computer, new materials หรือ nano-materials

หน่วยงานที่สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. กระทรวงพลังงาน
3. กระทรวงอุตสาหกรรม

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. เตรียมถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนสูงจากกะลามะพร้าวเพื่อใช้เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา
2. ทำการสังเคราะห์ซิลิกอนจากถ่านแกลบโดยกระบวนการ mettallothermic reduction และ carbothermic reduction โดยใช้ถ่านกะลามะพร้าวเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาในบรรยากาศ อุณหภูมิและเวลาต่างๆ
3. ตรวจสอบวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างของวัสดุตัวอย่างโดยเครื่อง XRD, XRF, และ SEM ตามความเหมาะสม
4. ศึกษาการใช้ประโยชน์จากวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุและสารเคมี

1. กรดไนตริก (HNO_3)
2. กรดไฮโดรฟลูออริก (HF)
3. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)
4. กรดไฮโดรคลอริก (HCL)
5. ผงแคลเซียม(Ca)
6. ผงแมกนีเซียม (Mg)
7. ริบบิ้นแมกนีเซียม (ribbon Mg)
8. ผงอลูมิเนียม(Al)
9. ผงเหล็ก(Fe)
10. แกลบข้าว และกะลามะพร้าวจากพื้นที่ อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี
11. น้ำกลั่น
12. ก๊าซ N_2 , O_2 , Ar

2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ถ้วยเผาสาร
2. Alumina crucible
3. Ball mill
4. เตาเผาอุณหภูมิสูง เตาท่อ
5. Image analyzer (stereo microscope) เครื่อง OLYMPUS, SZX9
6. X-ray diffraction (XRD) เครื่อง Phillips, X-Pert
7. Wave length Dispersive X-ray fluorescent (WDXRF) เครื่อง Phillips, MagiX
8. Scanning electron microscope (SEM) เครื่อง JEOL 6400
9. Energy dispersive X-ray (EDX) เครื่อง JEOL 6400
10. เครื่องชั่ง และปิเกตอร์

2.3 การเตรียมวัสดุและวิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมซิลิกอนไดออกไซด์ หรือซิลิกา จากแกลบข้าว (Purification of rice-husk silica)

เราเตรียมแฉ่แกลบ 2 ประเภทคือแฉ่ที่ได้จากแกลบที่ไม่ได้แช่ด้วยกรดและแฉ่ที่ได้จากการแช่แกลบด้วยกรดดังนี้

1. นำแกลบข้าวล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อให้ฝุ่นละอองที่ติดมากับแกลบออกไป ตากให้แห้ง หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แทนแฉ่แกลบนี้ ด้วยสัญลักษณ์ RHA1

2. นำแกลบข้าวล้างด้วยน้ำสะอาดตากเพื่อให้ฝุ่นละอองที่ติดมากับแกลบออกไป ตากให้แห้ง หลังจากนั้นนำไปแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 M ที่อุณหภูมิประมาณ 60-70°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวลง ล้างออกด้วยน้ำกลั่นตากให้แห้ง นำไปเผาที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แฉ่แกลบมีสีขาวมาก องค์ประกอบมากกว่า 95% เป็นซิลิกอนไดออกไซด์ แทนแฉ่แกลบนี้ด้วยสัญลักษณ์ RHA2

การเตรียมถ่านคาร์บอน หรือถ่านกะลาจากกะลามะพร้าว

นำกะลามะพร้าวมาทำความสะอาด และตากให้แห้งตัดเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปเผาที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ถ่านกะลามีลักษณะสีดำ หลังจากนั้นทำให้ละเอียดด้วยครกหินให้มีขนาดอนุภาคประมาณ 90µm ถ่านกะลาที่ได้มีปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็นองค์ประกอบหลัก แล้วนำมาแช่ในสารละลายกรด นำไปกรองแล้วล้างกรดออกด้วยน้ำกลั่นอบให้แห้ง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนและองค์ประกอบอื่นๆในถ่านกะลามะพร้าว

การสังเคราะห์ซิลิกอนด้วยกระบวนการ Metallothermic โดยผงแมกนีเซียม และริบบิ้นแมกนีเซียม กระบวนการสังเคราะห์มีดังนี้

1. ผสมแฉ่แกลบ RHA2 กับผงแมกนีเซียม และถ่านกะลา ในอัตราส่วน 2:1:0.1 บดรวมกัน
2. นำส่วนผสมดังกล่าวใส่ในภาชนะ Crucible ปิดฝา วางไว้ในเตา
3. เเผาในเตาเผา (EUROTHERM รุ่น 3504) ที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา ชั่วโมงครึ่ง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน อัตราการไหลของก๊าซผ่านเข้าไปในเตาเป็น 2 L/min ปล่อยให้เย็นลงโดยธรรมชาติ
4. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 3 ก่อนล้างด้วยกรด บันทึกรผล
5. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 3 แช่ด้วยกรดซัลฟูริกผสมกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 1 ชั่วโมงล้างออกด้วยน้ำกลั่นและตากให้แห้ง

6. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 5 แห้งด้วยกรดไนตริกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างออกด้วยน้ำกลั่นตากให้แห้ง
7. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 6 ไปแช่ในกรดไฮโดรฟลูอออิก (HF) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
8. ล้างกรด HF ออกด้วยน้ำกลั่นและตากให้แห้ง ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้แทนด้วยสัญลักษณ์ RHA3
9. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ หลังแห้งด้วยกรด HF และล้างด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล
10. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่อง XRD และ XRF
11. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1-10 แต่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนใหม่เป็น 2:0.5:0.1 และ 2:0.1:0.1 แทนผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยสัญลักษณ์ RHA4 และ RHA5
12. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 2-10 โดยใช้แก้วเคลือบ RHA2 ผสมริบบิ้นแมกนีเซียม และถ่านกะลาในอัตราส่วน 2:0.5:0.1, 2:0.1:0.1 และ 2:1:0.1 แทนผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ ด้วยสัญลักษณ์ RHA6, RHA7 และ RHA8 ตามลำดับ
13. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 2-10 แต่เผาในบรรยากาศก๊าซออกซิเจนโดยใช้แก้วเคลือบ RHA2 ผสมริบบิ้นแมกนีเซียม และถ่านกะลาในอัตราส่วน 2:1:0.1 แทนผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ ด้วยสัญลักษณ์ RHA9

การสังเคราะห์ซิลิกอนด้วยกระบวนการ Metallothermic โดยธาตุอะลูมิเนียม

กระบวนการสังเคราะห์มีดังนี้

1. ผสมแก้วเคลือบ RHA2 กับผงอะลูมิเนียม และถ่านกะลา ในอัตราส่วน 3:0.5:1
2. นำไปใส่ในภาชนะ Crucible ปิดฝา วางในเตาเผา
3. เเผาในเตาเผา (EUROTHERM รุ่น 3504) ที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน อัตราการไหลของก๊าซผ่านเข้าไปในเตาเป็น 2 L/min ปล่อยให้เย็นลงโดยธรรมชาติ
4. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 3 ก่อนล้างด้วยกรด บันทึกผล
5. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 3 แห้งด้วยกรดซัลฟูริกผสมกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างออกด้วยน้ำกลั่นและตากให้แห้ง
6. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 5 แห้งด้วยกรดไนตริกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างออกด้วยน้ำกลั่นตากให้แห้ง
7. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 6 ไปแช่ในกรดไฮโดรฟลูอออิก (HF) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
8. ล้างกรด HF ออกด้วยน้ำกลั่นและตากให้แห้ง แทนผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยสัญลักษณ์ RHA10
9. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ หลังแห้งด้วยกรด HF และล้างด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล

10. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่อง XRD
11. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1-10 โดยใช้แก้วแกลบ RHA2 ผสมกับผงอลูมิเนียม อัตราส่วน 4:3 เเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้แทนด้วยสัญลักษณ์ RHA11
12. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1-10 โดยใช้แก้วแกลบ RHA2 ผสมกับผงอลูมิเนียม อัตราส่วน 5:3 เเผาที่อุณหภูมิ 1280 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้แทนด้วยสัญลักษณ์ RHA12
13. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1-10 โดยใช้แก้วแกลบ RHA2 ผสมกับผงอลูมิเนียม และ ถ่านกะลา มีอัตราส่วน 3:0.5:1 เเผาที่อุณหภูมิ 1100 °C ในบรรยากาศของปรกติเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้แทนด้วยสัญลักษณ์ RHA13

การสังเคราะห์ซิลิกอนด้วยกระบวนการ Metallothermic โดยธาตุเหล็ก

กระบวนการสังเคราะห์มีดังนี้

1. ผสมแก้วแกลบ RHA2 กับผงเหล็ก และถ่านกะลา ในอัตราส่วน 3:0.5:1
2. นำไปใส่ในภาชนะ Crucible ปิดฝา วางในเตา
3. เเผาในเตาเผา (EUROTHERM รุ่น 3504) ที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศปรกติ ปล่อยให้เย็นลงโดยธรรมชาติ
4. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 3 ก่อนล้างด้วยกรด บันทึกลง
5. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 3 แช่ด้วยกรดซัลฟูริกผสมกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างออกด้วยน้ำกลั่นและตากให้แห้ง
6. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 5 แช่ด้วยกรดไนตริกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างออกด้วยน้ำกลั่นตากให้แห้ง
7. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 6 ไปแช่ในกรดไฮโดรฟลูอออริก (HF) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
8. ล้างกรด HF ออกด้วยน้ำกลั่นและตากให้แห้ง แทนผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยสัญลักษณ์ RHA14
9. ทำการทดลองซ้ำ โดยไม่ใช้ถ่านเป็นตัวกระตุ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้แทนด้วย RHA15

การสังเคราะห์ซิลิกอนด้วยกระบวนการ Metallothermic โดยธาตุ แคลเซียม

เราได้ทำการทดสอบเบื้องต้น โดยการนำ ถ้ำแคลบ RHA1 ผสมกับผงแคลเซียมอัตราส่วน 2:2 เเผาที่อุณหภูมิ 720°C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน แล้วนำไปแช่ในกรดไฮโดรฟลูอออริก ล้างออกด้วยน้ำกลั่น กรองและตากให้แห้ง ปรากฏว่าไม่พบสิ่งใด หลงเหลือบนกระดาษกรอง แสดงว่าไม่มีการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ใดเกิดขึ้น จึงได้ดำเนินการทดลองใหม่ มีกระบวนการดังนี้

1. ผสมถ้ำแคลบ RHA2 กับผงแคลเซียม ในอัตราส่วน 2 :1.6
2. นำไปใส่ในภาชนะ Crucible
3. เเผาในเตาเผา (EUROTHERM รุ่น 3504) ในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน อัตราการไหลของก๊าซผ่านเข้าไปในเตาเป็น 2 L/min เเผาที่อุณหภูมิ 950°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่อง XRD
5. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ก่อนแช่ด้วยกรด บันทึกลงผล
6. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 4 ไปแช่ในกรดไฮโดรฟลูอออริก (HF) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
7. ล้างกรด HF ออกด้วยน้ำกลั่นและตากให้แห้ง แทนผลิตภัณฑ์ที่ได้สัญลักษณ์ RHA16
8. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ บันทึกลงผล
9. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD
10. ทำการทดลองซ้ำ โดยใช้ถ้ำเป็นตัวกระตุ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้แทนด้วย RHA17

การสังเคราะห์ซิลิกอนด้วยกระบวนการ carbothermic reduction โดยคาร์บอน

เราได้ทำการทดสอบเบื้องต้น โดยการนำ ถ้ำแคลบ RHA1 ผสมกับผงถ่านกะลาอัตราส่วน 1:2 เเผาที่อุณหภูมิ 1100°C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน แล้วนำไปแช่ในกรดไฮโดรฟลูอออริก ล้างออกด้วยน้ำกลั่น กรองและตากให้แห้ง นำผลิตภัณฑ์ที่เหลือบนกระดาษกรองไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ปรากฏว่าไม่พบฟลักของธาตุซิลิกอน จึงได้ดำเนินการทดลองใหม่ มีกระบวนการดังนี้

1. ถ้ำแคลบ RHA2 ผสม ถ่านกะลาในอัตราส่วน 1:2
2. นำไปใส่ในภาชนะ Crucible ปิดฝา วางไว้ในเตา
3. เเผาในเตาเผา (EUROTHERM รุ่น 3504) ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน อัตราการไหลของก๊าซผ่านเข้าไปในเตาเป็น 2 L/min ปล่อยให้เย็นลงโดยธรรมชาติ
4. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 3 ก่อนล้างด้วยกรด บันทึกลงผล
5. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 3 แช่ด้วยกรดซัลฟูริกผสมกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างออกด้วยน้ำกลั่นและตากให้แห้ง

6. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 5 ไปแช่ในกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
7. ล้างกรด HF ออกด้วยน้ำกลั่นและตากให้แห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า RHA18
8. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ หลังแช่ด้วยกรด HF และล้างด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล
9. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่อง XRD