ผลของคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อซิลิกอนคาร์ไบด์

การศึกษาค้นคว้าอิสระ

ของ

นันทวัฒน์ ไชยพาพิมพ์

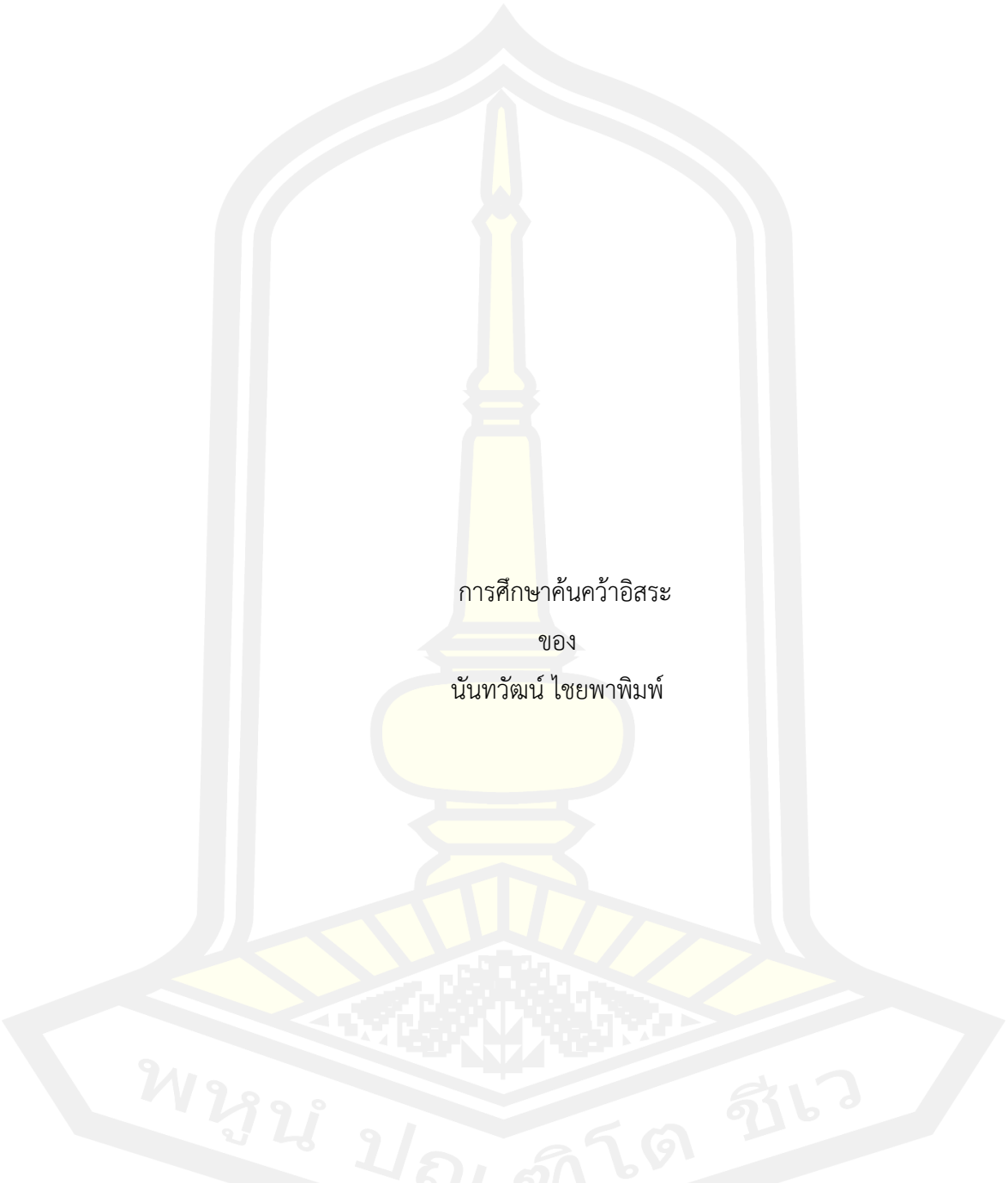
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มกราคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลของคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อซิลิกอนคาร์ไบด์



การศึกษาค้นคว้าอิสระ

ของ

นันทวัฒน์ ไชยพาพิมพ์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มกราคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

The Effect of Microwave on Silicon Carbide

Nanthawat Chaipapim

A Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

January 2023

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ ได้พิจารณาการศึกษาค้นคว้าอิสระของนายนันทวัฒน์ ไชยพาพิมพ์ แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รศ. ดร. อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผศ. ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณทา)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. ชัยยงค์ เสริมผล)

.....กรรมการ
(อ. ดร. บัญชา วัฒนะ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง ผลของคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อซิลิกอนคาร์ไบด์
ผู้วิจัย นันทวัฒน์ ไชยพาพิมพ์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณทา
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2566

บทคัดย่อ

ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) เป็นวัสดุเซรามิกที่นิยมทั่วโลกอย่างแพร่หลาย โดยถูกนำไปใช้งานกับอุตสาหกรรมหลากหลายด้าน เช่นเป็นส่วนประกอบของเครื่องยนต์ เคลือบใบมีด เคลือบดอกสว่านเพื่อตัดเจาะโลหะ ทำท่อขนส่งเคมีด้านวัสดุศาสตร์เซรามิก และอุตสาหกรรมอื่นๆการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อ (1)ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ (2)ศึกษาเวลาการคายความร้อนของซิลิกอนคาร์ไบด์ ซึ่งผู้วิจัยทำการศึกษาปฏิกิริยาของซิลิกอนคาร์ไบด์ ที่ดูดซับความร้อน และการคายความร้อนค่าอุณหภูมิอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับเตาอบไมโครเวฟ เพื่อใช้ในการทดสอบนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของซิลิกอนคาร์ไบด์ ขณะคายความร้อนใช้ระยะเวลานานเท่าใดจนกว่าจะถึงอุณหภูมิปกติ ได้ทำการทดสอบ โดยใช้เตาไมโครเวฟใช้กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ ใช้ซิลิกอนคาร์ไบด์ที่อยู่ภายใต้คลื่นไมโครเวฟที่มีมวลแตกต่างกันคือ 10 กรัม 100 กรัม และ 500 กรัม โดยใช้เวลาในการทดสอบที่แตกต่างกัน คือ 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาที และ 60 นาที ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า (1)ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม อยู่ภายใต้คลื่นไมโครเวฟจะมีอุณหภูมิต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับมวล 100 กรัม และ 500 กรัม จะมีอุณหภูมิสูงที่สุดประมาณ 65-125 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเก็บอุณหภูมิความร้อนได้ไม่นาน โดยใช้เวลาประมาณ 50 นาที จึงจะคายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส (2)ในระยะเวลาที่ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม อยู่ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ที่เวลา 10 นาที 20 นาที 40 นาที และ 40 นาที ตามลำดับ จะมีอุณหภูมิสูงที่สุดในช่วงแรกประมาณ 340-452 องศาเซลเซียส แต่จะเก็บอุณหภูมิความร้อนได้ไม่นาน ก็จะเกิดการคายความร้อนอย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาประมาณ 90 นาที ถึงจะคายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส (3)ในระยะเวลาที่ซิลิกอนคาร์ไบด์ อยู่ภายใต้คลื่นไมโครเวฟมวล 500 กรัม ที่เวลา 50 นาที และ 60 นาที จะมีอุณหภูมิสูงที่สุดประมาณ 256-425 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเก็บอุณหภูมิความร้อนได้นานที่สุดของมวลที่ใช้ในการทดลอง และการคายความร้อนอย่างช้าๆของซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม ใช้เวลาประมาณ 150 นาที ถึงจะคายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส ขณะที่ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม อยู่ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ จะมีอุณหภูมิต่อที่สุดเมื่อเทียบกับ มวล 100 กรัม และ 500 กรัม จะมีอุณหภูมิสูงที่สุด

ประมาณ 65-125 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเก็บอุณหภูมิความร้อนได้ไม่นาน โดยใช้เวลาประมาณ 50 นาที ถึงจะคายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียสโดยจากผลการทดลอง สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองของการศึกษาค้นคว้า ผลของคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อซิลิกอนคาร์ไบด์ ไปประยุกต์ใช้ได้ในงานวิจัยอนาคต เช่นการย่อยสลายขยะ หรือกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ได้

คำสำคัญ : ซิลิกอนคาร์ไบด์, คลื่นไมโครเวฟ, คายความร้อน

TITLE The Effect of Microwave on Silicon Carbide

AUTHOR Nanthawat Chaipapim

ADVISORS Assistant Professor Nattawoot Suwannata , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Electrical and Computer Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2023

ABSTRACT

Silicon carbide (SiC) is a widely used ceramic material around the world in various industries, namely engine components, blade coating, drill coating to cut metal, chemical pipelines in materials science, ceramics, and other industries. This study aimed (1) to study the modification of silicon carbide under microwave and (2) to study the exothermic reaction of silicon carbide. The researchers studied the reaction of silicon carbide in absorbing heat and exothermic and the optimum power ratio temperature for a microwave oven used in the test, especially how long it takes to analyze the efficiency of silicon carbide during absorbing heat and exothermic reaction until it reaches normal temperature.The test was run by using a microwave oven using 250 watts with silicon carbide under microwaves with different masses of 10 g 100 g and 500 g, with test durations of 10 minutes 20 minutes 30 minutes 40 minutes 50 minutes and 60 minutes, respectively. The findings revealed that (1)silicon carbide with a mass of 10 g under microwaves had the lowest temperature compared to a mass of 100 g and 500 g which had the highest temperature of about 65-125°C, which would not keep the heat for a long time with about 50 minutes for the exothermic reaction to room temperature at 25°C. (2)When silicon carbide with a mass of 100 g was under microwaves at 10 minutes 20 minutes 30 minutes and 40 minutes, it had the highest initial temperature of about 340-452°C but it could not keep the heat for a long time and it would be exothermic rapidly with about 90 minutes for the exothermic reaction to room temperature at 25°C. (3)When silicon carbide with a mass of 500 g was under microwaves at 50 minutes and 60 minutes, it

had the highest temperature of about 256-425°C, which would keep the heat the longest. The masses used included 10 g 100 g and 500 g, and the exothermic reaction was slow with about 150 minutes for the exothermic reaction to room temperature at 25°C. Experimental results can be used to bring the results obtained from the experiments of research studies The Effect of Microwave on Silicon Carbide can be applied in future research. such as decomposing waste or polymer forming process

Keyword : Microwave, Silicon Carbide, Exothermic Reaction

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยง เสริมผล และอาจารย์ ดร.บัญชา วัฒนะ กรรมการสอบและที่สำคัญท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ สุวรรณทา ผู้ที่คอยให้คำปรึกษาแนวทางในการศึกษา อีกทั้ง รองศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล ที่คอยให้ควบช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ทั้งด้านการเรียน และงานทดลองด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุนท่านในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผู้สนับสนุนทุนทรัพย์ สถานที่ด้านการศึกษา และอุปกรณ์ในการศึกษาทำการทดลอง ขอขอบคุณเพื่อนบัณฑิตศึกษาที่คอยให้ความช่วยเหลือ และที่ขาดมิได้ขอขอบคุณพระคุณบิดา มารดา ผู้เป็นครอบครัวให้กำลังใจในการศึกษาทั้งยังสนับสนุนทุกๆด้านด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยประจำคณะ และมหาวิทยาลัย ที่ชี้แนะแนวทางจนสามารถสำเร็จการศึกษาได้ในครั้งนี้

นันทวัฒน์ ไชยพาพิมพ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฏ

สารบัญรูปภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตการศึกษางานวิจัย 2

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย 2

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ซิลิกอนคาร์ไบด์ 3

2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของซิลิกอนคาร์ไบด์ 4

2.1.2 คุณสมบัติของซิลิกอนคาร์ไบด์ 5

2.2 การสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ 7

2.2.1 การสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ด้วยไมโครเวฟ 7

2.2.2 การสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ด้วยโซลเจล 8

2.2.3 การสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ด้วยคาร์โบเทอร์มอลรีดักชัน 10

2.2.4 การสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ด้วยเทอร์มอลพลาสมา 11

2.3 คลื่นไมโครเวฟ 14
2.3.1 คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ 15
2.3.2 ประโยชน์ของคลื่นไมโครเวฟ 16
2.3.3 คลื่นไมโครเวฟกับผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ 18
2.3.4 การเกิดความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ 19
2.3.5 รูปแบบการดูดซับคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่อาหาร 19
2.3.6 การถ่ายเทความร้อนของคลื่นไมโครเวฟ 20
2.4 เตาอบไมโครเวฟ 21
2.4.1 หลักการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ 21
2.4.2 หลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุ 22
2.4.3 องค์ประกอบของเตาอบไมโครเวฟ 23
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25
บทที่ 3 31
3.1 แผนการดำเนินงาน 31
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 32
3.2.1 เตาอบไมโครเวฟ 32
3.2.2 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ 32
บทที่ 4 34
4.1 วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 34
4.2 เตาไมโครเวฟ 36
4.3 เครื่องมือวัด 36
4.4 วิธีการวัดอุณหภูมิ 37
4.5 พื้นที่ในการทดลอง 38
4.6 ผลการทดลอง 39

4.6.1 ผลการทดลองการนำซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลแตกต่างกัน อบในเตาไมโครเวฟในเวลาที่เท่ากัน 39
4.6.2 ผลการทดลองการนำซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลเท่ากัน อบในเตาไมโครเวฟในเวลาที่แตกต่างกัน 66
4.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง 80
4.8 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ 88
บทที่ 5 89
5.1 สรุปผลการทดลอง 89
5.2 อภิปรายผลการทดลอง 89
บรรณานุกรม 91
ประวัติผู้เขียน 99

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แผนการดำเนินงาน 2
ตารางที่ 2 Computed Properties [8] 5
ตารางที่ 3 ข้อมูลจำเพาะเตาอบไมโครเวฟ ความจุ 20 ลิตร MS20A3010AL/ST [72] 32
ตารางที่ 4 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 10 นาที 40
ตารางที่ 5 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 20 นาที 44
ตารางที่ 6 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 30 นาที 48
ตารางที่ 7 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 40 นาที 52
ตารางที่ 8 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 50 นาที 56
ตารางที่ 9 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 60 นาที 61
ตารางที่ 10 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม 66
ตารางที่ 11 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม 69
ตารางที่ 12 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม 74

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปภาพประกอบ 1 ซิลิกอนคาร์ไบด์ [5] 4

รูปภาพประกอบ 2 โครงสร้างลูกบาศก์และผลึกของซิลิกอนคาร์ไบด์ [5] 4

รูปภาพประกอบ 3 Microwave heating (orange arrows) [16] 8

รูปภาพประกอบ 4 Thermoanalytical curves for of the products produced at exposure of (a,b) 3 h and (c, d) 5 h: (a, c) TGA curves and (b, d) DSC curves. [18] 9

รูปภาพประกอบ 5 Liquid oorganosilicon precursors [25] 12

รูปภาพประกอบ 6 Schematic diagram of a thermal plasma system for preparation of nano-sized SiC powder. [26] 13

รูปภาพประกอบ 7 TEM photographs of the powder synthesized at the condition of H/Si=26, C/Si=1.1. (a) collected at the reaction tube, (b) collected at the vessel [26] 13

รูปภาพประกอบ 8 แสดงย่านความถี่ของสเปกตรัมคลื่นไมโครเวฟ [14] 15

รูปภาพประกอบ 9 ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม [12] 16

รูปภาพประกอบ 10 ระบบเรดาร์ตรวจจับวัตถุทางอากาศ [12] 17

รูปภาพประกอบ 11 ระบบเตาไมโครเวฟ [12] 18

รูปภาพประกอบ 12 ภาพถ่ายของแมกนีตรอน [29] 24

รูปภาพประกอบ 13 แผนภาพโครงสร้างภายในของแมกนีตรอน [29] 24

รูปภาพประกอบ 14 อุปกรณ์ในวงจรสร้างแรงดันไฟฟ้าสูง [27] 24

รูปภาพประกอบ 15 เคมีไมโครเวฟในขวดปฏิกิริยาซิลิคอนคาร์ไบด์ [30] 25

รูปภาพประกอบ 16 เคมีไมโครเวฟโดยใช้เทคโนโลยีเครื่องปฏิกรณ์ซิลิกอนคาร์ไบด์ [31] 26

รูปภาพประกอบ 17 องค์ประกอบความร้อนแบบพาสซีฟซิลิคอนคาร์ไบด์ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์โดยใช้ไมโครเวฟช่วย [33] 27

รูปภาพประกอบ 18 การตรวจสอบการมีอยู่ของผลกระทบของไมโครเวฟแบบไม่ใช้ความร้อน/เฉพาะโดยใช้องค์ประกอบความร้อนของซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นตัวปรับกำลังไฟฟ้า [35]..... 28

รูปภาพประกอบ 19 Flowchart แสดงแผนการดำเนินงาน..... 31

รูปภาพประกอบ 20 เตาอบไมโครเวฟ ความจุ 20 ลิตร MS20A3010AL/ST [72]..... 32

รูปภาพประกอบ 21 NodeMCU+Board+MAX6675 Module + Type K Thermocouple Temperature Sensor และโปรแกรม PLX-DAQ [73]..... 33

รูปภาพประกอบ 22 ภาชนะเบ้าหลอม..... 34

รูปภาพประกอบ 23 ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม..... 35

รูปภาพประกอบ 24 ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม..... 35

รูปภาพประกอบ 25 ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม..... 35

รูปภาพประกอบ 26 เตาไมโครเวฟ..... 36

รูปภาพประกอบ 27 อุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดอุณภูมิ..... 36

รูปภาพประกอบ 28 โปรแกรมที่ใช้ในการบันทึกผลการวัดอุณหภูมิ..... 37

รูปภาพประกอบ 29 การวัดซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม ในเตาไมโครเวฟ..... 37

รูปภาพประกอบ 30 การวัดซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม ในเตาไมโครเวฟ..... 38

รูปภาพประกอบ 31 การวัดซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม ในเตาไมโครเวฟ..... 38

รูปภาพประกอบ 32 ห้องสถานที่ในการทดลอง..... 39

รูปภาพประกอบ 33 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 10 นาที..... 81

รูปภาพประกอบ 34 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 20 นาที..... 81

รูปภาพประกอบ 35 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 30 นาที..... 82

รูปภาพประกอบ 36 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 40 นาที..... 83

รูปภาพประกอบ 37 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 50 นาที 83

รูปภาพประกอบ 38 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 60 นาที 84

รูปภาพประกอบ 39 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 10 กรัม 85

รูปภาพประกอบ 40 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 100 กรัม 86

รูปภาพประกอบ 41 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 500 กรัม 87

รูปภาพประกอบ 42 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ 88

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) เป็นวัสดุเซรามิกที่นิยมทั่วโลกอย่างแพร่หลาย โดยถูกนำไปใช้งานกับอุตสาหกรรมหลากหลายด้าน เช่น เป็นส่วนประกอบของเครื่องยนต์ เคลือบใบมีด เคลือบดอกสว่านเพื่อตัดเจาะโลหะ ทำท่อขนส่งเคมี ด้านวัสดุศาสตร์ เซรามิกซ์ และอุตสาหกรรมอื่นๆ เป็นต้น [1] เนื่องจาก ซิลิกอนคาร์ไบด์ เป็นเซรามิกมีสมบัติเชิงกล ทนอุณหภูมิสูง นำไฟฟ้าได้ดี เฉื่อยต่อการออกซิเดชันจากสารเคมี และยังมีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ จึงใช้ทำเป็นวัสดุกึ่งตัวนำที่ทนอุณหภูมิสูงได้ [2] สามารถผลิตได้ทั้งในรูปของผงและฟิล์มบาง [3] ในการสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ ทำได้หลายวิธี เช่น ไมโครเวฟ (Microwave) [4] โซลเจล (Sol-gel) คาร์โบเทอร์มอลรีดักชัน (Carbothermal reduction) [5] เทอร์มอลพลาสมา (Thermal plasma) [6] โดยซิลิกอนคาร์ไบด์ เป็นสารสังเคราะห์ที่ได้จากปฏิกิริยาทางเคมี ระหว่างซิลิกอนกับคาร์บอน ในการเผาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งปฏิกิริยาเคมีเบื้องต้นของการเกิด SiC [7] คือ

$$SiO_2(s) + 3C(s) \longrightarrow SiC\ (s) + 2CO(g) \qquad (1)$$

$$SiO_2(s) + 2C(s) \longrightarrow Si(s) + 2CO(g) \qquad (2)$$

$$SiO_2(s) + C(s) \longrightarrow SiO(g) + CO(g) \qquad (3)$$

มีการศึกษาวัสดุจากซิลิกอนคาร์ไบด์อยู่จำนวนหนึ่ง [8]-[12] ซึ่งได้กล่าวถึง การพัฒนาและปรับปรุงอุปกรณ์จากซิลิกอนคาร์ไบด์ [13]-[18] หรือการสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ [1]-[7], [19]-[28] ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จนกระทั่งการนำซิลิกอนคาร์ไบด์ไปประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมต่างๆ [29]-[32] อย่างไรก็ตาม การวิจัยในส่วนของการศึกษาปฏิกิริยาของซิลิกอนคาร์ไบด์ ที่ดูดซับความร้อน และการคายความร้อน ค่าอุณหภูมิอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับเตาอบไมโครเวฟเพื่อใช้ในการทดสอบนั้น ยังไม่ได้มีผู้ศึกษาวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของซิลิกอนคาร์ไบด์ขณะดูดและคายความร้อนใช้ระยะเวลานานเท่าใด จนกว่าจะถึงอุณหภูมิปกติ จึงได้มีการศึกษาและออกแบบการทดสอบจริงในบทที่ 2 และบทที่ 3 จึงเป็นที่มาของการวิจัยในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

2) ศึกษาเวลาการคลายความร้อนของซิลิกอนคาร์ไบด์

1.3 ขอบเขตการศึกษางานวิจัย

1) ทดสอบวัดค่าอุณหภูมิของซิลิกอนคาร์ไบด์ เมื่ออยู่ภายในเตาไมโครเวฟ

2) ทดสอบระยะเวลาการคายความร้อน ของซิลิกอนคาร์ไบด์

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1) ได้ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

2) ได้ค่าอุณหภูมิความร้อนสูงสุด และเวลาการคลายความร้อน ของซิลิกอนคาร์ไบด์ เมื่ออยู่ในเตาไมโครเวฟ

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1 แผนการดำเนินงาน

รายการ	**ระยะเวลา**					
	เดือนที่					
	1-2	**3**	**4-5**	**6-8**	**9-10**	**11-12**
1) ศึกษาซิลิกอนคาร์ไบด์และคลื่นไมโครเวฟ						
2) ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง						
3) ศึกษาออกแบบการทดลองและเครื่องมือวัด						
4) ติดตั้งเพื่อทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูล						
5) วิเคราะห์และจัดทำรายงานความก้าวหน้าของงานวิจัย						
6) สรุปและอภิปรายผล						

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ การออกแบบการทดลองมีองค์ประกอบอยู่หลายส่วน จำเป็นจะต้องใช้ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับซิลิกอนคาร์ไบด์ทั้งทางด้านโครงสร้างโมเลกุล และคุณสมบัติเป็นอย่างดี และต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคลื่นไมโครเวฟเป็นอย่างดี เพื่อจะได้นำความรู้ที่ศึกษาไปเลือกอุปกรณ์ต้นแบบ ที่จะนำมาใช้เพื่อทดลองและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ การศึกษาการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ พิจารณาจากการศึกษาทฤษฎีและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยจึงได้ศึกษา ค้นคว้าและจากงานวิจัยซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ซิลิกอนคาร์ไบด์

ซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide : SiC) หรือ คาร์บอรันดัม (Carborundum) หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โมซาไนท์ (Moissanite) ซึ่ง Dr. Henri MOISSAN ค้นพบในปี ค.ศ. 1905 [33] โดยสารประกอบหลักจะเป็นของแข็งที่ประกอบไปด้วยคาร์บอน 50 เปอร์เซ็นต์ และ ซิลิกอน 50 เปอร์เซ็นต์ สารประกอบที่พบเห็นจอยู่ในสถานที่ ที่เป็นสถานที่จำเพาะทางธรณีวิทยา เช่น แท่งหินที่มีสารประกอบของเพชร และหินคิมเบอร์ไลต์ หรือแม้กระทั่งในหินอุกกาบาตบางชนิด เป็นสารประกอบที่มีสูตรเคมีคือ SiC ซึ่งจะมีสีเขียวถึงสีดำ เนื่องจากการปนเปื้อนกับธาตุเหล็กต่างๆ [34]

ซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นสิ่งที่หายากบนโลก ซึ่งพบเห็นได้ทั่วไปในอวกาศ เป็นรูปแบบทั่วไปของละอองดาวที่พบรอบๆ ดาวฤกษ์ที่อุดมไปด้วยธาตุคาร์บอน โดยซิลิกอนคาร์ไบด์ที่พบในอวกาศ และในอุกกาบาตนั้น แทบจะเป็นเพียงเบต้า-พอลิมอร์ฟเท่านั้น โดยซิลิกอนคาร์ไบด์ที่พบในอุกกาบาตเมอร์ชิสัน ซึ่งเป็นอุกกาบาตชนิดคาร์บอเนเซียส chondrite มีอัตราส่วนไอโซโทปของคาร์บอน และซิลิกอนที่ผิดปกติ ซึ่งบ่งชี้ว่ามีต้นกำเนิดมาจากนอกระบบสุริยะ [35]

ดังนั้น ซิลิกอนคาร์ไบด์ ที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนมากจะเกิดจากการสังเคราะห์ ซึ่งวัสดุชนิดนี้เป็นทั้งเซรามิก และสารกึ่งตัวนำ ซึ่งมีคุณสมบัติที่มีความแข็งเกือบเทียบเท่าเพชร มีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงมากกว่า 1,000 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีค่าสภาพนำความร้อนที่สูง ซึ่งทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้เช่นเดียวกับโลหะในทางอุตสาหกรรม ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้ซิลิกอนคาร์ไบด์ ทั้ง

ทางด้านอวกาศยาน เครื่องยนต์ความร้อนสูง จานเบรก กระทั่งทางด้านนิวเคลียร์ และตัวกรองจำเพาะสำหรับชิ้นส่วนในการสร้างความร้อน เป็นต้น [36]

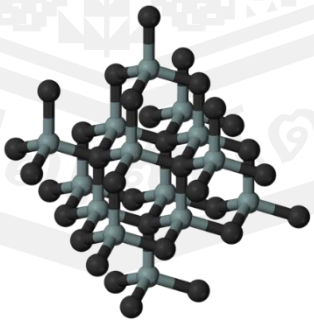
2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของซิลิกอนคาร์ไบด์

ซิลิกอนคาร์ไบด์มีความแข็งที่สูงมาก Mohs 9.5 ซึ่งเป็นอันดับสองรองจากเพชรที่แข็งที่สุดในโลก (เกรด 10) นำความร้อนที่ดีเยี่ยม และเป็นเซมิคอนดักเตอร์ชนิดหนึ่ง ที่สามารถต้านทานการเกิดการออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง และสูตรทางเคมีคือ SiC ซึ่งคาร์บอนถูกยึดติดกับซิลิกอนโดยพันธะโควาเลนต์สามตัวที่มีประจุบวก (+) ใน Si และประจุลบ (-) ในคาร์บอน (+Si≡C-) [37] ภาพประกอบ 1 แสดงรูปลักษณะของซิลิกอนคาร์ไบด์

ซิลิกอนคาร์ไบด์มีอยู่ในรูปแบบผลึกประมาณ 250 ชนิด [41] โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสในบรรยากาศเฉื่อยของโพลีเมอร์พรีเซรามิกซิลิกอนคาร์ไบด์ ในรูปแบบอสัณฐานคล้ายแก้วก็ถูกผลิตขึ้นเช่นกัน [42] ความหลากหลายของ ซิลิกอนคาร์ไบด์ มีลักษณะเป็นตระกูลใหญ่ที่มีโครงสร้างผลึกคล้ายกัน ที่เรียกว่า “โพลีไทป์” เป็นรูปแบบของสารประกอบทางเคมีเดียวกัน ที่เหมือนกันในสองมิติและแตกต่างกันในส่วนที่สาม ดังนั้นจึงสามารถดูเป็นเลเยอร์ที่ซ้อนกันในลำดับที่แน่นอน [43]

รูปภาพประกอบ 1 ซิลิกอนคาร์ไบด์ [5]

ภาพประกอบ 2 แสดงโครงสร้างลูกบาศก์และผลึกของซิลิกอนคาร์ไบด์ การจัดเรียงนี้เหมือนกับของเพชรแม้จะมีความแตกต่างของรัศมีอะตอมระหว่าง C และ Si [8]



รูปภาพประกอบ 2 โครงสร้างลูกบาศก์และผลึกของซิลิกอนคาร์ไบด์ [5]

ซิลิกอนคาร์ไบด์รูปแบบคริสตัลอย่างน้อย 70 คริสตัล อัลฟ่า - ซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นสารที่พบมากที่สุดที่เกิดขึ้นในอุณหภูมิสูงกว่า 2,000 องศาเซลเซียส และมีโครงสร้างผลึกหกเหลี่ยม (เช่น wurtzite) - SiC โครงสร้างลูกบาศก์คล้ายกับเพชรผลิตต่ำกว่า 2,000 องศาเซลเซียส โครงสร้างดังกล่าวจะแสดงในภาพบนหน้า ถึงแม้ว่าในการประยุกต์ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ heterogeneous แต่ก็มีพื้นที่ผิวหน่วยที่สูงกว่าประเภทαและซิลิกอนคาร์ไบด์ตัวอื่นμ-silicon คาร์ไบด์มีความเสถียรมากที่สุด [39]

2.1.2 คุณสมบัติของซิลิกอนคาร์ไบด์

คุณสมบัติทั่วไปของซิลิกอนคาร์ไบด์ เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีที่มีเสถียรภาพการนำความร้อนสูงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำและความต้านทานการสึกหรอที่ดี ซิลิกอนคาร์ไบด์มีการใช้งานอื่น ๆ นอกเหนือจากสารกัดกร่อนเช่นการเคลือบผงซิลิกอนคาร์ไบด์บนใบพัดกังหันหรือบล็อกทรงกระบอกโดยกระบวนการพิเศษ ผนังด้านในสามารถปรับปรุงความต้านทานการสึกหรอและยืดอายุการใช้งาน 1~2 ครั้ง วัสดุทนไฟขั้นสูงที่ใช้สำหรับการผลิตคือทนความร้อนขนาดเล็กน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูงและมีผลการประหยัดพลังงานที่ดี ซิลิกอนคาร์ไบด์เกรดต่ำ ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ SiC เป็นเครื่องดีท็อกไซด์ที่ยอดเยี่ยมซึ่งช่วยเร่งการผลิตเหล็กและช่วยให้ควบคุมองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของเหล็ก นอกจากนี้ซิลิกอนคาร์ไบด์ยังถูกใช้อย่างกว้างขวางเพื่อสร้างแท่งซิลิกอนคาร์ไบด์สำหรับองค์ประกอบทางไฟฟ้า [39] ตารางที่ 2 จะแสดงถึงคุณสมบัติโดยทั่วไปของซิลิกอนคาร์ไบด์

ตารางที่ 2 Computed Properties [8]

Property Name	**Property Value**	**Reference**
Molecular Weight	40.096	Computed by PubChem 2.1 (PubChem release 2021.05.07)
Hydrogen Bond Donor Count	0	Computed by Cactvs 3.4.8.18 (PubChem release 2021.05.07)
Hydrogen Bond Acceptor Count	1	Computed by Cactvs 3.4.8.18 (PubChem release 2021.05.07)
Rotatable Bond Count	0	Computed by Cactvs 3.4.8.18 (PubChem release 2021.05.07)
Exact Mass	39.976926534	Computed by PubChem 2.1 (PubChem release 2021.05.07)

Monoisotopic Mass	39.976926534	Computed by PubChem 2.1 (PubChem release 2021.05.07)
Topological Polar Surface Area	0 Å²	Computed by Cactvs 3.4.8.18 (PubChem release 2021.05.07)
Heavy Atom Count	2	Computed by PubChem
Formal Charge	0	Computed by PubChem
Complexity	10	Computed by Cactvs 3.4.8.18 (PubChem release 2021.05.07)
Isotope Atom Count	0	Computed by PubChem
Defined Atom Stereocenter Count	0	Computed by PubChem
Undefined Atom Stereocenter Count	0	Computed by PubChem
Defined Bond Stereocenter Count	0	Computed by PubChem
Undefined Bond Stereocenter Count	0	Computed by PubChem
Covalently Bonded Unit Count	1	Computed by PubChem
Compound Is Canonicalized	Yes	Computed by PubChem (release 2021.05.07)

เนื่องจากความถ่วงจำเพาะ 3.2 กรัม/เซนติเมตร และอุณหภูมิ sublimation สูง ประมาณ 2,700 องศาเซลเซียส ซิลิกอนคาร์ไบด์เหมาะสำหรับเป็นวัตถุดิบสำหรับตลับลูกปืนหรือเตาเผาอุณหภูมิสูง มันไม่ได้ละลายภายใต้ความกดดันใด ๆ ที่สามารถทำได้และมีปฏิกิริยาเคมีที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีค่าการนำความร้อนสูงความแข็งแรงของสนามไฟฟ้าที่สลายตัวสูงและความหนาแน่นกระแสสูงสุดสูงทำให้หลายคนพยายามเปลี่ยนซิลิกอนในการใช้ส่วนประกอบเซมิกอนดักเตอร์กำลังแรงสูง [39] นอกจากนี้ยังมีคัปปลิ้งแรงกับการแผ่รังสีไมโครเวฟและจุดระเหิดสูงทั้งหมดทำให้สามารถใช้กับโลหะทำความร้อนได้

ซิลิกอนคาร์ไบด์บริสุทธิ์ไม่มีสีในขณะที่อุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลถึงดำเกิดจากสิ่งสกปรกที่มีธาตุเหล็ก ความมันวาวเหมือนรุ้งบนคริสตัลนั้นเกิดจากชั้นป้องกันซิลิกาบนพื้นผิวของมัน

2.2 การสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์

ในการสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ จากการศึกษาสามารถทำได้หลากหลายหลายวิธี จึงยกวิธีการมา 4 วิธีดังต่อไปนี้

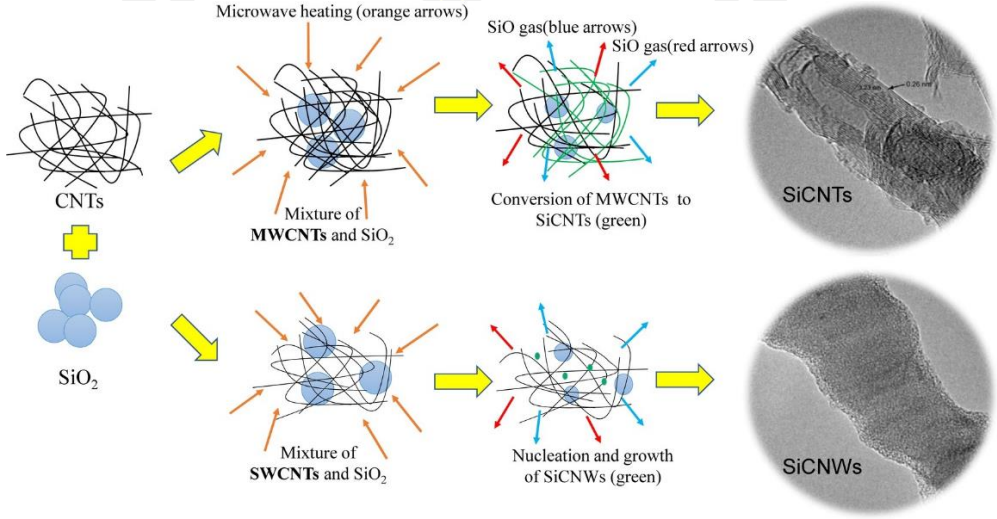
2.2.1 การสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ด้วยไมโครเวฟ

มีงานวิจัยหลายงานที่กล่าวถึงการสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด้วยไมโครเวฟ ดังต่อไปนี้

BM Moshtaghioun และคณะ [47] ศึกษาขั้นตอนการปรับปรุงสำหรับการสังเคราะห์ผงนาโนซิลิกอนคาร์ไบด์จากซิลิกาโดยการลดคาร์บอเทอร์มิกภายใต้ความร้อนที่เกิดจากไมโครเวฟอย่างรวดเร็ว ผงถูกเตรียมโดยปฏิกิริยาโซลิดสเตตโดยตรงใน สนามไมโครเวฟ 2.45 GHz ในบรรยากาศไนโตรเจนหลังจากการ สี 40 ชั่วโมง เป็นครั้งแรกที่การก่อตัวของซิลิกอนคาร์ไบด์ (β-SiC) เป็นเฟสหลักสามารถทำได้ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ใน 5 นาทีของการสัมผัสกับไมโครเวฟ ส่งผลให้อนุภาคขนาดนาโนมีตั้งแต่ 10 ถึง 40 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะการสังเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุด การวิเคราะห์องค์ประกอบเฟสเชิงปริมาณของ Rietveld ยืนยันว่าโพลีไทป์ SiC หลักคือลูกบาศก์ SiC (β-SiC) ที่มีเศษส่วนของน้ำหนัก 98.5(4) และส่วนที่เหลือเป็นเฟส SiC polytypic (α-SiC) หกเหลี่ยมเล็กน้อย ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการสังเคราะห์ผง SiC ในแง่ของการประหยัดพลังงานและประหยัดเวลาตลอดจนการเตรียมผง SiC nano

VCS Tony และคณะ [48] วัสดุนาโนซิลิกอนคาร์ไบด์หนึ่งมิติ(SiCNM) เป็นวัสดุชั้นนำที่มีศักยภาพสำหรับส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่มีอุณหภูมิสูง พลังงานสูงและสภาพแวดล้อมที่รุนแรง เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นของ SiCNM แบบมิติเดียว เช่น คุณสมบัติทางกลสูง ความแข็งสูง ความเฉื่อยทางเคมีที่ดีและคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ดีเยี่ยม ในบทความนี้ เรารายงานการสังเคราะห์ SiCNM หนึ่งมิติที่ประสบความสำเร็จจากการผสมผสานของอนุภาค SiO_2 กับ CNT สองประเภท ได้แก่ MWCNT และ SWCNT โดยใช้การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและผลกระทบของ CNT ประเภทต่างๆ ต่อการสังเคราะห์ SiCNM หนึ่งมิติ ผลของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดการปล่อยสนาม , กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง ผ่าน ที่มีความละเอียดสูง, เอ็กซ์เรย์สเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน, โฟโตลูมิเนส เซน ซ์สเปกโทร สโกปี, ฟู

เรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และการวิเคราะห์เทอร์โมกราวิเมตริกเปิดเผยว่า ท่อนาโนβ-SiC มีความบริสุทธิ์สูงจากการผสมผสานของอนุภาค SiO2 และ MWCNT ในขณะที่ลวดนาโน SiC ที่เป็นของแข็งถูกสังเคราะห์จากการผสมผสานของ SiO_2 อนุภาค SiO_2 สิ่งนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าประเภทของ SiCNM หนึ่งมิติ (กลวงหรือของแข็ง) สามารถควบคุมได้โดยใช้ CNT ประเภทต่างๆ ดังนั้นการศึกษานี้จึงเสนอวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการสังเคราะห์ SiCNM หนึ่งมิติที่มีสัณฐานวิทยาที่ควบคุมได้



รูปภาพประกอบ 3 Microwave heating (orange arrows) [16]

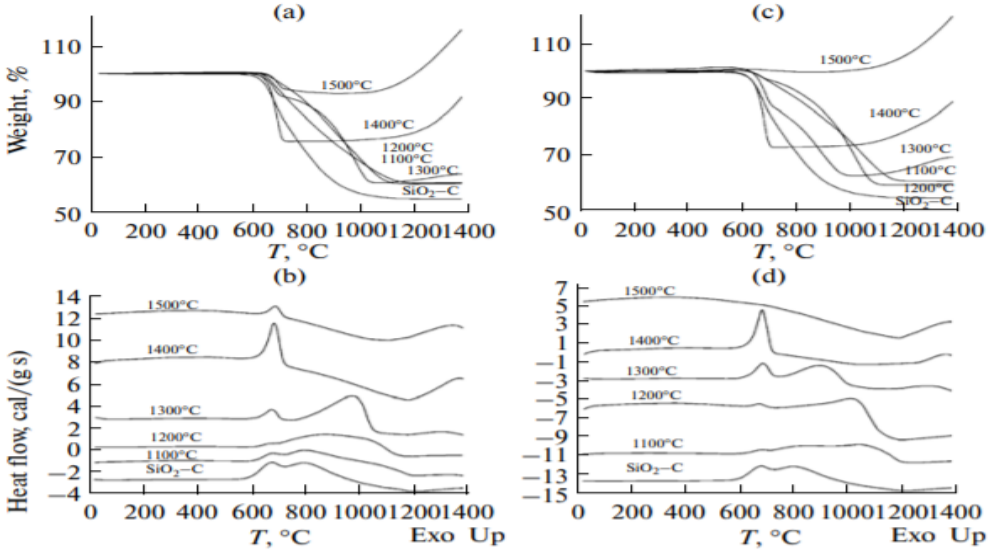
L.N. Satapathy และคณะ [49] ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ละเอียดและโมโนฟาซิกถูกสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาโซลิดสเตตโดยตรงของส่วนประกอบ คือซิลิกอนและคาร์บอนในสนามไมโครเวฟ 2.45 จิกะเฮิร์ต พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเฟสซิลิกอนคาร์ไบด์ การก่อตัวถูกกำหนดโดยเวลาปฏิกิริยาและอุณหภูมิปฏิกิริยาที่แปรผัน แปลงมาแล้วโดดเด่นด้วยขนาดอนุภาค พื้นที่ผิว องค์ประกอบเฟส (X-ray diffraction) และสัณฐานวิทยา (scanning electron microscope) การก่อตัวของซิลิกอนคาร์ไบด์แบบเฟสบริสุทธิ์สามารถทำได้ที่ 1,300 องศาเซลเซียส ในเวลาน้อยกว่า 5 นาที การสัมผัสกับไมโครเวฟส่งผลให้อนุภาคขนาดย่อยไมครอน Si + C ⟶ SiC คำนวณหาอุณหภูมิที่แตกต่างกันและเปรียบเทียบกับผลการทดลอง นั้นสามารถทำได้ที่ประมาณ 1,135 องศาเซลเซียส

2.2.2 การสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ด้วยโซลเจล

มีงานวิจัยหลายงานที่กล่าวถึงการสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด้วยวิธีโซลเจล ดังต่อไปนี้

E. P. Simonenko และคณะ [50] ซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีการกระจายตัวสูงถูกสังเคราะห์โดยใช้วิธีไฮบริดที่ประกอบด้วยขั้นตอนโซลเจลเพื่อให้ส่วนผสมเริ่มต้นของ SiO_2 - C ที่เกี่ยวข้องกับการก่อตัว

ของเจลโปร่งใสและการสังเคราะห์คาร์บอเทอร์มอลภายใต้สภาวะที่ค่อนข้างอ่อน กล่าวคือ ที่อุณหภูมิ 1,200-1,500 องศาเซลเซียส ภายใต้สุญญากาศแบบไดนามิก ศึกษาองค์ประกอบของธาตุและเฟสของผลิตภัณฑ์และพฤติกรรมทางความร้อนในอากาศ ในอีกด้านหนึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิและเวลาในการบำบัดความร้อนในอีกด้านหนึ่ง



รูปภาพประกอบ 4 Thermoanalytical curves for of the products produced at exposure of (a,b) 3 h and (c, d) 5 h: (a, c) TGA curves and (b, d) DSC curves. [18]

In -Sig Seog & Chong Hee Kim [51] ผงเจล SiC ทรงกลมแบบกระจายตัวถูกสังเคราะห์โดยการไฮโดรไลซิสและการควบแน่นของฟีนิลไตรเมทอกซีไซเลน (PTMS) หรือส่วนผสมของ PTMS และเตตระเอทิลออร์โธซิลิเกต (TEOS) จากระบบของตัวเร่งปฏิกิริยา -H_2O- ซึ่งไม่มีตัวทำละลายร่วม เช่น แอลกอฮอล์ถูกเติม การทดลองดำเนินการผ่านสองเส้นทาง เส้นทางเร่งปฏิกิริยาเบสและเส้นทางเร่งปฏิกิริยากรดเบส ในแต่ละกระบวนการ น้ำส่วนเกินถูกใช้เป็นตัวกลางในการกระจายตัวเพิ่มเติมจากสารไฮโดรไลซิง ในเส้นทางที่เร่งปฏิกิริยาด้วยเบส ได้ผงเจลทรงกลมแบบกระจายตัวโดยไม่คำนึงถึงปริมาณ NH 4 OH ที่ใช้ในการทดลองนี้เมื่อความเข้มข้นของไซเลนและอัตราส่วนโมลาร์ของ TEOS ต่อ PTMS น้อยกว่า 0.5 $moll^{-1}$ และ 0.5 ตามลำดับ ในเส้นทางที่เร่งปฏิกิริยากรด-เบส ผงโพลีดิสเพอร์เซดถูกผลิตขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไซเลนเกิน 0.25 $moll^{-1}$ เมื่อได้รับความร้อนสูงกว่า 1,400 องศาเซลเซียส ผงแป้งเดี่ยวที่กระจายตัวในขั้นต้นจะคงรูปร่างไว้ในระบบ PTMS-TEOS แต่เฟสเทกองและไฟเบอร์ถูกผลิตขึ้นในระบบ PTMS

Fumio Hatakeyama & Shuzo Kanzaki [52] ผง β-SiC ทรงกลมแบบโมโนกระจายตัวถูกสังเคราะห์โดยให้ความร้อนผงเจลทรงกลมที่ได้มาจากการไฮโดรไลซิสของส่วนผสมของ phenyltriethoxysilane และ tetraethyl orthosilicate สารละลายถูกเตรียมในบีกเกอร์และไฮโดร

ไลซ์โดย NH 4 OH โดยไม่ต้องคน ผงเจลทรงกลมแบบกระจายตัวที่มีขนาดต่ำกว่าไมโครมิเตอร์นั้นได้มาเมื่อปริมาณที่เติมของ NH 4 OH มากกว่า 16 โมลต่อโมล ของไซเลนบวกอัลคอกไซด์ และกลายเป็นผง β-SiC ทรงกลมที่มีการกระจายตัวแบบเดี่ยวโดยการให้ความร้อนที่ 15,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในบรรยากาศอาร์ ปริมาณ SiC ของผงคือ 92.6 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

2.2.3 การสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ด้วยคาร์โบเทอร์มอลรีดักชัน

มีงานวิจัยหลายงานที่กล่าวถึงการสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด้วยคาร์โบเทอร์มอลรีดักชัน ดังต่อไปนี้

Alan W. Weimer และคณะ [53] จลนพลศาสตร์ของการลดคาร์บอเทอร์มอลเพื่อสังเคราะห์ SiC ได้รับการศึกษาภายใต้สภาวะที่มีอัตราการให้ความร้อนของสารตั้งต้นคาร์บอน/ซิลิกาสูง (105 K/s) และลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาในช่วงอุณหภูมิกว้าง (1,848 ⩽ T ⩽ 2,273 K) กลไกการเกิดปฏิกิริยาประกอบด้วยการก่อตัวอย่างรวดเร็วของสารตัวกลาง SiO ที่เป็นก๊าซ การลดคาร์บอนเพิ่มเติมของ SiO เป็น SiC คือการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยา เส้นผ่านศูนย์กลางของผลึกคาร์บอน d มีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาและขนาดของ SiC ที่สังเคราะห์ขึ้น การแปลงแฟรกชันนัลออกไซด์ X สามารถอธิบายได้โดยแบบจำลองแกนที่หดตัวตามปริมาตรที่หดตัว:

$$k = \frac{1-(1-X)^{1/3}}{t} = \frac{k_o}{d}\exp\left(-E/RT\right)$$

โดยที่ k 0 = 27.4 m/s และ E = 382±34 kJ/mol

Hans-Peter Martin และคณะ [54] สารละลายน้ำตาลในซิลิกาซอลถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตผงนาโนคริสตัลไลน์ SiC หลังจากผสมและทำให้แห้งแบบแช่แข็งของส่วนประกอบแล้ว การแปลงจะดำเนินการในสองขั้นตอน ขั้นแรก น้ำตาลถูกแปลงเป็นอนุภาคคาร์บอน และประการที่สอง ส่วนผสมของซิลิกาคาร์บอนถูกทำให้ร้อนจนถึงอุณหภูมิปฏิกิริยาที่อนุมัติระหว่าง 1,550 ถึง 1,800 องศาเซลเซียส ภายใต้แรงดันอาร์กอนที่ 180 kPa เมื่อถึงอุณหภูมิการสังเคราะห์ ความดันจะลดลงเหลือ 0.02 kPa ซึ่งนำไปสู่ปฏิกิริยาที่รุนแรงส่งผลให้เกิดอนุภาคที่ละเอียดมาก ผงที่ได้รับมีลักษณะเฉพาะโดยคำนึงถึงขนาดอนุภาคและผลึก พื้นผิว BET และองค์ประกอบทางเคมีของผง ปริมาณออกซิเจน < 0.5 wt% และอนุภาค < 0.5 μm โดยมีผลึก < 100 nm และพื้นที่ผิวจำเพาะในช่วง 20–30 m^2g^{-1}.

Won-Seon Seo และคณะ [55] ปฏิกิริยาการก่อตัวหลักสำหรับหนวดที่สังเคราะห์จาก SiO_2 และคาร์บอนแบล็ก (CB) ในบรรยากาศก๊าซไฮโดรเจนเป็นปฏิกิริยาของแข็งระหว่าง SiO และ CB

หนวดที่สังเคราะห์ได้แบ่งออกเป็นสามประเภท ในแง่ของสัณฐานวิทยา ทิศทางการเติบโต และระนาบการซ้อนผิดพลาด: (i) ประเภท A ซึ่งมีพื้นผิวค่อนข้างเรียบและระนาบการซ้อนผิดพลาดจะตั้งฉากกับทิศทางการเติบโต (ii) ประเภท B ซึ่งมีพื้นผิวขรุขระและระนาบการซ้อนผิดพลาดจะเอียงที่มุม 35 องศา กับทิศทางการเติบโต และ (iii) ประเภท C ซึ่งมีพื้นผิวฟันเลื่อยที่หยาบและข้อผิดพลาดในการซ้อนมีอยู่พร้อมกันในระนาบ ที่แตกต่างกันสามระนาบ มุมที่สังเกตได้ในหนวดเคราที่หักและแตกแขนงคือ 125 องศา, 70 องศา และ 109 องศา หนวดเหล่านี้ประกอบด้วยส่วนผสมของประเภท A และประเภท B, ประเภท A เท่านั้น, หรือการเติบโตแบบคู่ขนานโดยหนวดเคราประเภท A และประเภท B สองคู่

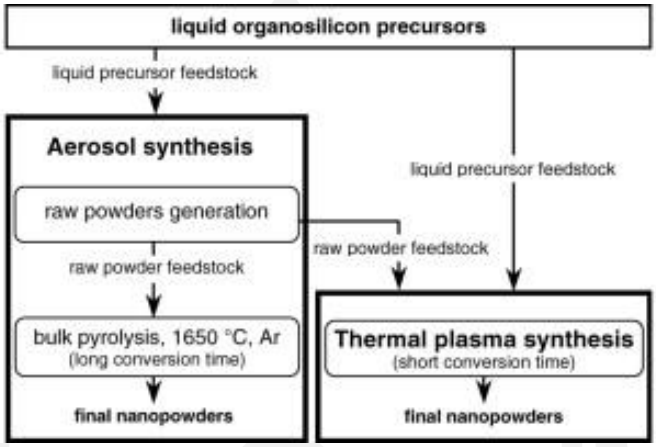
C.Y. Chen และคณะ [56] การลดความร้อนของซิลิกอนไดออกไซด์ในกระแสก๊าซเฉื่อยที่ไหลผ่านได้รับการตรวจสอบโดยการวัดการลดน้ำหนัก การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลลัพธ์ที่ได้บ่งชี้ว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มขนาดตัวอย่างหรืออุณหภูมิของปฏิกิริยา นอกจากนี้ พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราการไหลของก๊าซเฉื่อย อัตราส่วน Si/C ขนาดเกรนของซิลิคอนไดออกไซด์หรือคาร์บอน หรือความหนาแน่นรวมเริ่มต้น สมการเชิงประจักษ์สำหรับอัตราการบริโภคของ SiO_2 และ C เช่นเดียวกับอัตราการผลิตของ SiC ก็ถูกกำหนดเช่นกัน ผลลัพธ์ยังระบุด้วยว่า Fe_2O_3 ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและทั้งปริมาณและ Fe_2O_3 ขนาดอนุภาคอาจเปลี่ยนระดับอิทธิพลต่อปฏิกิริยา

2.2.4 การสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ด้วยเทอร์มอลพลาสมา

มีงานวิจัยหลายงานที่กล่าวถึงการสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด้วยเทอร์มอลพลาสมา ดังต่อไปนี้

Cezary Czosnek และคณะ [57] ผงที่มี SiC ที่มีขนาดนาโนเป็นพื้นฐานถูกเตรียมจากสารตั้งต้นของออร์กาโนซิลิกอนในเฟสของเหลวที่เลือกใช้โดยการสังเคราะห์ด้วยละอองลอย การสังเคราะห์ DC เทอร์มอลพลาสมา และการรวมกันของสองวิธี วิธีการสังเคราะห์แบบใช้ละอองลอยแบบสองขั้นตอนจะให้ที่สภาวะสุดท้ายใกล้กับสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ วิธีการพลาสมาความร้อนแบบขั้นตอนเดียวมีลักษณะเฉพาะด้วยเวลาที่อยู่อาศัยของอนุภาคสั้นในเขตปฏิกิริยา ซึ่งสามารถนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่ควบคุมด้วยจลนศาสตร์ ผลพลอยได้และผงนาโนขั้นสุดท้ายมีลักษณะเฉพาะด้วยผง XRD, อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี FT-IR, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM และ 29 Si MAS NMR สเปกโทรสโกปี BET พื้นที่ผิวจำเพาะของผลิตภัณฑ์ถูกกำหนดโดยการดูดซับไนโตรเจนทางกายภาพมาตรฐานที่ 77 K. ส่วนประกอบหลักในเส้นทางการสังเคราะห์ทั้งหมดพบว่าเป็นลูกบาศก์ซิลิกอนคาร์ไบด์ β-SiC ที่มีขนาดผลึกเฉลี่ยตั้งแต่ไม่กี่ถึงสิบนาโนเมตร ในบางกรณี มีคาร์บอนอิสระ

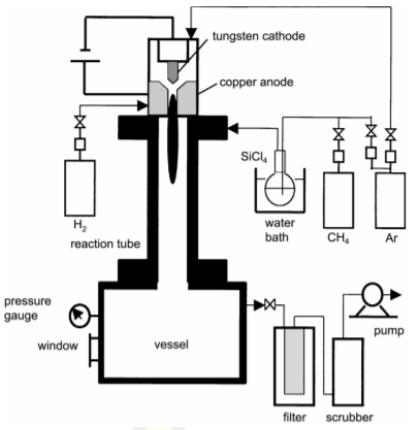
ธาตุซิลิกอน หรืออนุภาคนาโนซิลิการ่วมด้วย ผงนาโนที่ใช้ β-SiC แบบ mesoporous สุดท้ายมีศักยภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาราคาไม่แพง



รูปภาพประกอบ 5 Liquid oorganosilicon precursors [25]

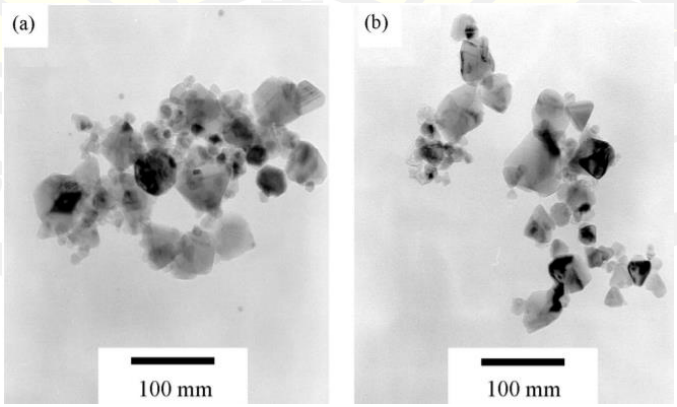
เปรียบเทียบวิธีการสองวิธีและเวอร์ชันคู่กันสำหรับการแปลงสารตั้งต้นออร์กาโนซิลิกอนที่เลือกไปเป็นผงนาโนที่ใช้ SiC กล่าวคือ วิธีการช่วยด้วยละอองลอยและวิธีพลาสมาความร้อนแบบ DC องค์ประกอบของผงสุดท้ายอาจสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะของวิธีการที่ใช้ การสังเคราะห์แบบใช้ละอองลอยแบบสองขั้นตอนจัดเตรียมในขั้นตอนที่สองของไพโรไลซิสเป็นกลุ่มที่ สภาวะ 1,650 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับสมดุลและผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม ในทางกลับกัน DC

Seung-Min Oh และคณะ [58] ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ขนาดนาโน (SiC) ถูกเตรียมโดยกระบวนการเทอร์มอลพลาสมาโดยใช้ซิลิกอนเตตระคลอไรด์ ($SiCl_4$) และมีเทน (CH_4) ผงสังเคราะห์มีลักษณะเฉพาะด้วยรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด FT-IR สเปกโทรสโกปี และเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค ผงถูกครอบงำโดย β-SiC รวมถึง α-SiC และชนิดคาร์บอนอิสระบางชนิด คุณภาพของผงแป้งจะแตกต่างกันไปตามสภาวะของกระบวนการ เช่น อัตราส่วนโมลาร์ของ H/Si และ C/Si และตำแหน่งการรวบรวม เป็นที่ทราบกันดีว่าการเปลี่ยนไปใช้ SiC ได้รับผลกระทบจากการเติมก๊าซไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากส่งเสริมการสลายตัวและการลดลงของ SiCL CH_4 ถูกย่อยสลายเป็นคาร์บอนสปีชีส์อย่างง่ายดายเพื่อการก่อตัวของ SiC เช่นเดียวกับการกำจัดออกซิเจนที่ไม่บริสุทธิ์ แต่คาร์บอนที่มากเกินไปจะยับยั้งการก่อตัวของ SiC ที่เป็นผลึกและส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของคาร์บอนที่เป็นของแข็ง อัตราส่วนที่เหมาะสมของ H/Si คือประมาณ 26 และของ C/Si คือ 1.1 สำหรับตำแหน่งการรวบรวม ผงที่เก็บที่ภาชนะและตัวกรองนั้นดีกว่าที่ท่อปฏิกิริยา ขนาดเฉลี่ยของผงที่สังเคราะห์ได้ประมาณว่าต่ำกว่า 100 นาโนเมตรและมีการกระจายสม่ำเสมอ



รูปภาพประกอบ 6 Schematic diagram of a thermal plasma system for preparation of nano-sized SiC powder. [26]

ระบบส่วนใหญ่ประกอบด้วยไฟฉายพลาสม่า ระบบป้อนวัตถุดิบ ท่อและถังปฏิกิริยาระบายความร้อนด้วยน้ำ ตัวกรองโลหะและเครื่องฟอก โดยทั่วไปแล้วไฟฉายพลาสม่าจะทำงานที่อินพุต 8 ถึง 12 กิโลวัตต์ กำลังไฟฟ้าที่มีอัตราการไหล 15 l/min ของก๊าซ Ar เป็นแหล่งข้อมูลซิลิกอนเตตระคลอไรด์ (SiCl4, ความบริสุทธิ์ 99.9%, Aldrich Co.) ถูกฉีดใต้หัวพ่นไฟพลาสม่า อัตราการไหลของ $SiCl_4$ ถูกควบคุมโดยอุณหภูมิอ่างน้ำ สายป้อนอาหารถูกทำให้ร้อนถึงป้องกันการควบแน่นของไอ $SiCl_4$ Ar-carrier gas ถูกปรับที่อัตราการไหลของ 2.5 l/min และก๊าซ CH_4 สารตั้งต้นถูกเติมผ่านสายป้อนอาหารของ $SiCl_4$ วัตถุดิบถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วและแยกตัวกับสายพันธุ์ต่างๆ ในเปลวไฟพลาสม่า และสายพันธุ์เหล่านี้ทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันหรือรวมตัวกับวัตถุดิบในเวลาอันสั้น. ผลิตภัณฑ์ก๊าซและผลพลอยได้ถูกทำให้แข็งตัวออกของเปลวไฟในพลาสมาโดยการดับอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดผงขนาดนาโน หลังจากเกิดปฏิกิริยาบนเครื่องบิน ก๊าซที่มีผลิตภัณฑ์ผงผ่านชุดกรองและเครื่องฟอกโดยเครื่องดูดปั๊ม. ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของซิลิกอนเตตระคลอไรด์ มีเทน และไฮโดรเจน



รูปภาพประกอบ 7 TEM photographs of the powder synthesized at the condition of H/Si=26, C/Si=1.1. (a) collected at the reaction tube, (b) collected at the vessel [26]

ผง β-SiC ขนาดนาโนถูกเตรียมโดยกระบวนการดีซีพลาสมาคุณสมบัติของผงถูกควบคุมโดยการปรับตัวแปรกระบวนการ สรุปผลได้ดังนี้

1. การแปลงเป็น SiC เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยการเพิ่มของไฮโดรเจนเพราะไฮโดรเจนส่งเสริมการสลายตัวและการลดลงของสารประกอบซิลิกอนคลอไรด์ เพื่อเตรียมความพร้อมสูงผง β-SiC คุณภาพ อัตราส่วนโมลาร์ของ H/Si จะต้องเป็นมากกว่า 10 และควรเป็น 26

2. อัตราส่วนโมลาร์ของ C/Si จะต้องอยู่ที่ประมาณ 1.1 CH_4 ถูกย่อยสลายเป็นคาร์บอนได้ง่ายสำหรับการก่อตัวของ SiC เช่นเดียวกับการกำจัดออกซิเจนที่ไม่บริสุทธิ์ ภายใต้ภาวะขาดคาร์บอนเงื่อนไข สปีชีส์ Si ถูกรวมใหม่ได้ง่ายและส่งผลให้เกิดการก่อตัวของ SiO_2 ที่ไม่เป็นรูปเป็นร่างโดยออกซิเจนที่ไม่บริสุทธิ์หรือออกซิเจนแวดล้อมนอกจากนี้ สปีชีส์ของคาร์บอนส่วนเกินยังยับยั้งการก่อตัวของผลึกและส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของคาร์บอนที่เป็นของแข็งในผง

3. สำหรับตำแหน่งการรวบรวม การแปลงเพิ่มขึ้นมากขึ้นที่ถังและตัวกรองเนื่องจากเวลาปฏิกิริยาที่ยืดออก ขนาดของผงคาดว่าจะต่ำกว่า 100 นาโนเมตรและมีการกระจายสม่ำเสมอ

Devin Coleman และคณะ [59] สาธิตการสังเคราะห์กลวง ซิลิกอนคาร์ไบด์ อนุภาคนาโนผ่านกระบวนการสองขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับ non-thermal พลาสม่า การสังเคราะห์ ซิลิกอน อนุภาคนาโน ตามด้วยคาร์บอนไนเซชั่นในเที่ยวบิน ซึ่งเริ่มต้นโดยไม่ใช่ความร้อน พลาสม่า ข้อพิจารณาทางเรขาคณิตอย่างง่ายที่เกี่ยวข้องกับการขยายตัวของ ซิลิกอนตาข่ายกับคาร์บอนไนเซชั่น ร่วมกับเรขาคณิตทรงกลมของระบบ อธิบายการก่อตัวของโครงสร้างนาโนแบบกลวง ซึ่งตรงกันข้ามกับรายงานก่อนหน้านี้ที่ปรับการก่อตัวของอนุภาคกลวงโดยวิธีการแพร่กระจายขององค์ประกอบหลักออก กล่าวคือ โดยผลกระทบระดับนาโนของ “Kirkendall” การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีของการแพร่กระจาย จลนศาสตร์บ่งชี้ว่าการมีปฏิสัมพันธ์กับก๊าซที่แตกตัวเป็นไอออนทำให้เกิดนัยสำคัญอนุภาคนาโน ความร้อนช่วยให้ขนส่ง ได้อย่างรวดเร็ว คาร์บอน เข้าไปใน ซิลิกอน อนุภาคและต่อมา นิวเคลียส ของเบตาซิลิกอน คาร์ไบด์เฟส งานนี้ยืนยันศักยภาพของ non-thermalพลาสม่ากระบวนการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนที่ประกอบด้วยจุดหลอมเหลวสูง วัสดุ และแนะนำว่าสามารถปรับกระบวนการดังกล่าวได้เพื่อให้เกิดการควบคุมทางสัณฐานวิทยา

2.3 คลื่นไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ความถี่สูงชนิดหนึ่งที่สายตาไม่สามารถมองเห็นได้ แต่สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือเฉพาะเท่านั้น และเป็นคลื่น

แม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกันคลื่นแสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) คลื่นรังสีเอ็กซ์ และคลื่นรังสีแกมมา เป็นต้น แต่มีความถี่คลื่นน้อยกว่า [44]

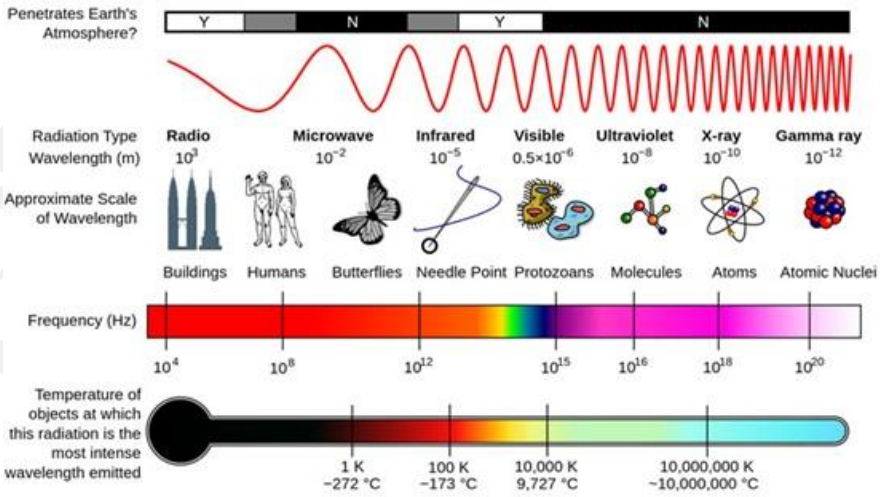
คลื่นไมโครเวฟมีความยาวคลื่นในช่วง 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร มีความถี่ของช่วงคลื่นในช่วง 300 เมกกะเฮิร์ต ถึง 300 จิกะเฮิร์ต ซึ่งมีความถี่คลื่นสูงสุดประมาณ 2,450 ล้านรอบ/วินาที โดยมีใช้ทางอุตสาหกรรมที่ความถี่ในช่วง 915 – 2,450 เมกกะเฮิร์ต ส่วนคลื่นความถี่ไมโครเวฟที่เหลือจะสงวนไว้ใช้ในการวิจัยและงานอื่นๆ

2.3.1 คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ

1. การสะท้อนกลับ (Reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อวิ่งกระทบกับวัสดุที่เป็นโลหะหรือส่วนที่มีองค์ประกอบของโลหะ คลื่นจะไม่สามารถวิ่งทะลุผ่านโลหะได้ และจะสะท้อนกลับทั้งหมด ดังนั้นอาหารที่ถูกหุ้มด้วยภาชนะดังกล่าวจะไม่เกิดการสุก

2. การส่งผ่าน (Transmission) คลื่นไมโครเวฟเมื่อวิ่งกระทบกับวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ ได้แก่ แก้ว พลาสติก กระดาษ เซรามิก และไม้ เป็นต้น คลื่นจะสามารถทะลุผ่านได้ ดั้งนั้น วัสดุเหล่านี้จึงนิยมใช้เป็นภาชนะสำหรับรองหรือห่อหุ้มอาหารเข้าตู้ไมโครเวฟ

3. การดูดซับ (Adsorption) คลื่นไมโครเวฟเมื่อวิ่งกระทบกับวัสดุที่มีน้ำหรือความชื้นภายในคลื่นจะเกิดบางส่วนจะถูกดูดซับเอาไว้ ทำให้โมเลกุลของน้ำดูดซับพลังงานคลื่น และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนเอาไว้จนเกิดความร้อนตามมา รวมถึงการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำ ซึ่งทำให้เกิดความร้อนเช่นกัน ทั้งนี้ คลื่นไมโครเวฟหลังถูกดูดซับจะสลายตัวทันที ไม่มีการตกค้างในอาหาร



รูปภาพประกอบ 8 แสดงย่านความถี่ของสเปกตรัมคลื่นไมโครเวฟ [14]

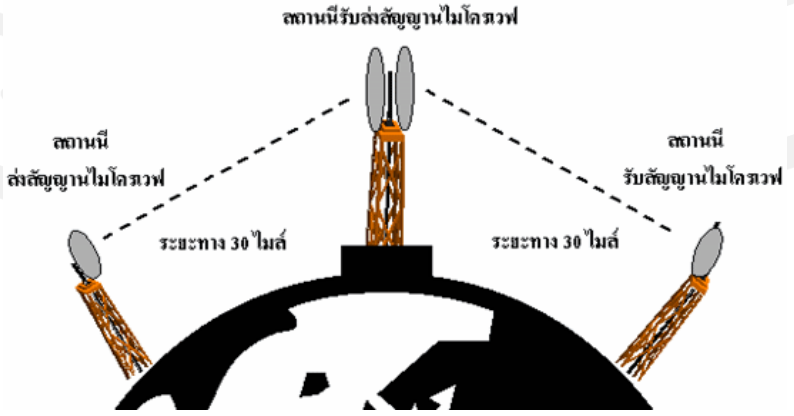
2.3.2 ประโยชน์ของคลื่นไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นที่มีย่านความถี่กว้างมาก และเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย ทั้งงานด้านตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ งานสื่อสาร และงานด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น การใช้งานคลื่นไมโครเวฟมีหลากหลายชนิด สามารถแบ่งออกได้ดังนี้ [45]

1) ระบบเชื่อมต่อสัญญาณในระดับสายตา ใช้ในงานสื่อสารโทรคมนาคมระหว่างจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง อย่างเช่น การโทรศัพท์ทางไกล ใช้การส่งผ่านสัญญาณโทรศัพท์จากจุดหนึ่ง ไปยังสถานีทวนสัญญาณจากจุดหนึ่งและส่งผ่านสัญญาณไปเรื่อยๆ จนถึงปลายทาง และในการส่งโทรทัศน์ก็จะทำการส่งสัญญาณโทรทัศน์จากห้องส่งไปยังเครื่องส่งไมโครเวฟ ส่งไปทางสายอากาศ และแพร่กระจากคลื่นของโทรทัศน์ของสถานีนั้นๆ ระยะห่างของสถานีสัญญาณจะเป็นดังนี้ ถ้าความถี่สูงระยะห่างก็จะน้อย แต่ถ้า ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟต่ำระยะห่างของสถานีทวนสัญญาณก็จะมาก

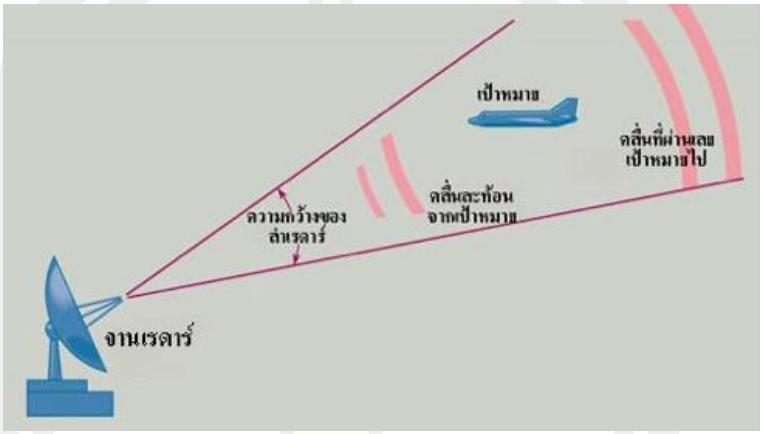
2) ระบบเหนือขอบฟ้า ซึ่งเป็นระบบสื่อสารไมโครเวฟที่ใช้ชั้นบรรยากาศห่อหุ้มโลก ชั้นโทรโพสเฟียร์ ช่วยในการสะท้อนและหักเหคลื่นความถี่ไมโครเวฟ ให้ไปถึงปลายทาง ให้ได้ระยะทางมากขึ้น การสื่อสารไมโครเวฟระบบนี้ไม่ค่อยนิยมใช้งาน ใช้เฉพาะในกรณีจำเป็นหรือฉุกเฉิน เช่น ในเขตที่ไม่สามารถตั้งสถานีทวนสัญญาณได้ ภูมิประเทศที่แห้งแล้งกันดาร เป็นป่าดงดิบ เป็นน้ำขวางกันและเป็นอันตราย เนื่องจากการใช้งานรูปแบบนี้สามารถทำได้ในระยะทางที่ไกลมาก ดังนั้นในการส่งคลื่นจึงทำให้คลื่นมีการ กระจัดกระจายได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องส่งที่มีกำลังส่งที่สูงและสายอากาศที่รับต้องมีอัตราการขยายสัญญาณที่สูง เช่นเดียวกัน

3) ระบบดาวเทียม เป็นระบบสื่อสารไมโครเวฟที่ใช้สถานีทวนสัญญาณลอยอยู่เหนือพื้นโลกกว่า 30,000 กิโลเมตร โดยการใช้ดาวเทียมทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณการใช้ระบบนี้สามารถทำการสื่อสารได้ไกลมากๆ ได้ และจะนิยมใช้งานในระบบสื่อสารข้ามประเทศหรือข้ามทวีป เป็นระบบสื่อสารไมโครเวฟที่นิยมใช้งานมากอีกระบบหนึ่ง



รูปภาพประกอบ 9 ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม [12]

4) ระบบเรดาร์ ระบบเรดาร์นี้เป็นการใช้คลื่นความถี่ไมโครเวฟที่ช่วยในการตรวจจับและวัดระยะทางของวัตถุต่างๆ ที่อยู่ห่างไกล และวัตถุเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ หลักการของระบบเรดาร์คือจะส่งคลื่นไมโครเวฟออกไปจากสายอากาศในมุมแคบ และเมื่อคลื่นไมโครเวฟนั้นกระทบกับวัตถุจะทำให้สะท้อนกลับมาเข้าสายอากาศ นำสัญญาณที่รับเทียบกับสัญญาณเดิมและจะแปรค่าออกมาเป็นข้อมูลที่ต้องการ



รูปภาพประกอบ 10 ระบบเรดาร์ตรวจจับวัตถุทางอากาศ [12]

5) ระบบเตาไมโครเวฟ ระบบนี้เป็นการส่งคลื่นไมโครเวฟ ที่มีกำลังสูงส่งในพื้นที่แคบ ๆ ที่ทำด้วยโลหะ คลื่นไมโครเวฟนี้ก็จะสะท้อนโลหะนั้นทำให้มีคลื่นไมโครเวฟ กระจัดกระจายอยู่พื้นที่นั้น สามารถ นำไปใช้ในการทำอาหารได้ [45] ใช้เป็นแหล่งกระตุ้นให้เกิดความร้อนภายในอาหารหรือใช้ประกอบอาหารให้สุก หรือที่นิยมเรียกว่า เตาไมโครเวฟ รวมถึง ใช้เป็นแหล่งให้ความร้อนในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม โดยใช้คลื่นความถี่ในช่วง 915–2,450 เมกกะเฮิร์ต การใช้ไมโครเวฟในกระบวนการแปรรูปอาหารในระดับอุตสาหกรรมครั้งแรก ได้แก่ การผลิตมันฝรั่งทอดกรอบซึ่งเกี่ยวข้องกับการทำแห้ง นอกนี้ ยังใช้ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆอาจใช้ไมโครเวฟซึ่งมีทั้งระบบธรรมดา และระบบสุญญากาศ โดยนำไปช่วยเสริมในระบบการทำแห้งแบบต่างๆ ได้แก่ การทำแห้งโดยอาศัยแรงดันออสโมติก และทำแห้งด้วยตู้อบธรรมดา (air drying) หรือนำไปเสริมในระบบการทำแห้งภายใต้สุญญากาศสำหรับอาหารที่มีองค์ประกอบที่สลายง่ายเมื่อถูกความร้อน การนำไมโครเวฟมาช่วยในการแปรรูป ได้แก่ การทำแห้งผลิตภัณฑ์อาหารเส้น (Pasta) หอมใหญ่ ขนมเค้กที่ทำจากข้าว สาหร่าย อาหารขบเคี้ยว และไข่แดงที่ผ่านการทำให้สุก ซึ่งนับว่าเป็นการพัฒนาทั้งระบบเครื่องมือ และวิธีการแปรรูปไปอีกระดับหนึ่งในความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี [44] รวมถึงในด้านอื่นๆ อาทิเช่น

– ใช้เพื่อทำการพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization) ได้แก่ ขนมปัง และนมเปรี้ยว

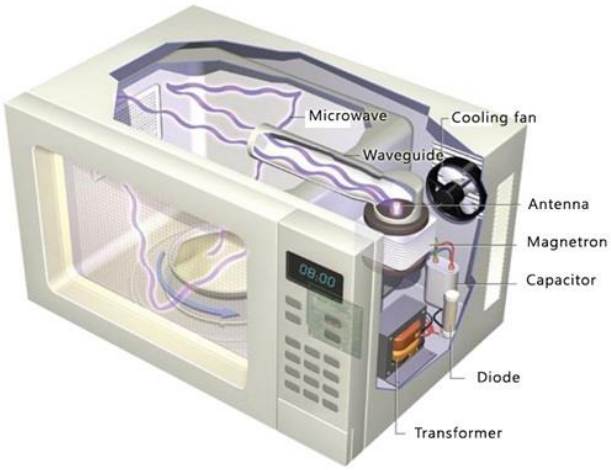
– ใช้เพื่อฆ่าเชื้อในผลิตภัณฑ์ (Sterilization) ได้แก่ นม และการเตรียมอาหาร

– ใช้ในการอบ (Baking) ได้แก่ ขนมปัง และนัท

– ใช้ในการคั่ว (Roasting) ได้แก่ เมล็ดกาแฟ และเมล็ดโกโก้

– ใช้ในการลวก (Blanching) ได้แก่ ข้าวโพด และผลไม้

– ใช้ในการเจียว (Rendering) ได้แก่ น้ำมันหมู และไขมันวัว



รูปภาพประกอบ 11 ระบบเตาไมโครเวฟ [12]

6) ใช้ในทางการแพทย์ สำหรับการฆ่าเชื้อ หรือการรักษาโดยการใช้ความร้อน โดยความมีช่วงความยาวคลื่นที่ยาวกว่าคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ปรุงอาหารหรือมีความถี่คลื่นน้อยกว่านั่นเอง เพราะการรักษาอาการป่วยของมนุษย์จะต้องใช้ความร้อนในขนาดที่ร่างกายทนได้ ห้ามการใช้ความร้อนสูง เช่น การรักษาอาการปวดเมื่อยของกล้ามเนื้อหรือข้อ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟความถี่ต่ำที่ให้ความร้อนเพียงอุ่นๆ ส่วนการรักษา และทำลายเซลล์มะเร็งในร่างกาย แพทย์จะใช้คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่สูงขึ้นมาเล็กน้อย [44]

2.3.3 คลื่นไมโครเวฟกับผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์

หากร่างกายได้รับคลื่นไมโครเวฟที่มีระดับความเข้มมากๆ เช่น ได้ความความเข้มข้นที่ 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ในระยะเวลานานๆ จะทำให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างโมเลกุลของน้ำ โปรตีน หรือไขมัน ขึ้นภายในเซลล์ร่างกาย จนเซลล์ร่างกายเกิดความร้อน และถูกดูดกลืนสะสมเอาไว้ภายในเซลล์หรืออวัยวะ และหากร่างกายไม่สามารถระบายหรือถ่ายเทความร้อนให้อยู่ในสภาวะปกติได้ จะทำให้เซลล์หรืออวัยวะนั้นเกิดความเสียหาย และหากเกิดในระดับรุนแรงอาจทำให้เซลล์ตายได้ ความเสียหายของเซลล์หรือผลข้างเคียงที่มักเกิดขึ้น ได้แก่

1) ผลต่อเลนส์ตา ทำให้เลนส์ตาระบายความร้อนได้น้อย อาจเป็นต้อกระจก

2) ผลต่อเชื้ออสุจิ อาจทำให้เชื้ออสุจิตาย เชื้ออสุจิผิดปกติ และกลายเป็นหมันชั่วคราว

3) ผลต่อศีรษะ ทำให้มีอาการปวดศีรษะ มึนงง หรือเมื่อยล้า

4) ผลต่อหัวใจ ทำให้หัวใจเต้นเร็วหรือเต้นผิดจังหวะ

5) ผลต่อกระดูก ทำให้กระดูกผิดรูปร่าง โดยเฉพาะกระดูกที่กำลังเจริญพัฒนา

นอกจากผลกระทบที่มีต่อร่างกายแล้ว คลื่นไมโครเวฟยังมีผลรบกวนการทำงานของเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงให้ทำงานผิดปกติได้ โดยเฉพาะผู้ป่วยโรคหัวใจที่ใช้เครื่องช่วยการเต้นของหัวใจ cardiac pacemaker จะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเมื่อใกล้คลื่นไมโครเวฟ

2.3.4 การเกิดความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟทำให้อาหารสุกได้ เนื่องจากอาหารมีการดูดซับพลังงานคลื่นไว้ และคลื่นไมโครเวฟทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารสั่นสะเทือน และชนกับโมเลกุลอื่นๆจนเกิดเป็นพลังงานจลน์ และพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นนี้ จะค่อยๆเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนแทน [44]

การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำด้วยการหมุนตัววนไปมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเกิดขึ้นประมาณ 915-2,450 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที จากอัตราการหมุนตัวนี้ ส่งผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ และการเสียดสีระหว่างโมเลกุล จนส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้น ดังนั้น อัตราการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจึงเป็นส่วนสำคัญต่อปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งความแตกต่างของความร้อนที่เกิดจากปัจจัยต่างๆนี้ เรียกว่า ความหลวม [45]

ค่าความหลวมจะแปรผันกับความถี่ อุณหภูมิ และชนิดของวัสดุ หากวัสดุมีความหลวมมาก แสดงว่าวัสดุนั้นสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้มาก ซึ่งมักขึ้นกับความหนาแน่นของวัสดุ และปริมาณน้ำที่มีในวัสดุ ความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นภายใน แล้วค่อยแพร่ความร้อนออกมาอย่างต่อเนื่องสู่ภายนอก จากผลการเดือดของน้ำ และการนำพาความร้อนของน้ำ

2.3.5 รูปแบบการดูดซับคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่อาหาร

1) Ionic Polarization เป็นการเกิดความร้อนที่เป็นผลมาจากผลของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในสารละลาย เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า แต่ละโมเลกุลซึ่งมีประจุไฟฟ้าประจำตัวจะถูก

กระตุ้น และเร่งให้มีการเคลื่อนที่ จึงทำให้เกิดการเสียดสีกับโมเลกุลอื่นๆ และเกิดการเปลี่ยนพลังงานจลน์ให้กลายเป็นพลังงานความร้อน จากนั้น เกิดการกระจายความร้อนไปสู่ส่วนอื่นๆต่อไป การเกิดความร้อนแบบนี้จะเกิดขึ้นภายในเซลล์ แล้วค่อยแพร่มายังด้านนอก

2) Dipole Rotation เป็นการเกิดความร้อนกับวัสดุที่มีสารประกอบมีขั้วเป็นองค์ประกอบ ซึ่งหมายถึงน้ำเป็นส่วนประกอบนั่นอง โดยธรรมชาติน้ำที่อยู่ในวัสดุจะเรียงตัวประจุบวก และลบบนโมเลกุลอย่างไม่มีระเบียบ แต่เมื่อโมเลกุลเหล่านั้นถูกกระทบกับคลื่นไมโครเวฟแล้ว ประจุเกิดการเคลื่อนที่ และจัดเรียงมีระเบียบขึ้น และหากมีการสลับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ประจุเหล่านั้นก็จะเคลื่อนที่กลับทิศตามการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นกัน และเกิดการวิ่งสลับเป็นหลายล้านครั้ง/วินาที จนส่งผลทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นมาภายในอาหารตามมา

ในการใช้ไมโครเวฟอาหารจะเกิดความร้อนได้เมื่อกระทบกับคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้น การที่คลื่นไมโครเวฟจะทะลุเข้าไปในชิ้นอาหารมากก็นับว่าเป็นการดีที่จะทำให้เกิดความร้อนอย่างทั่วถึง [44]

ธรรมชาติของไมโครเวฟนั้น เมื่อกระทบกับสารประกอบไดอิเล็กทริกก็จะเกิดความร้อนขึ้นแล้ว พลังงานก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว อาหารใดมีค่า loss factor สูงก็จะให้ความร้อนสูงตามไปด้วย แต่ในขณะเดียวกันพลังงานในการเจาะทะลุเข้าไปในชิ้นอาหารก็จะยิ่งลดลง จึงทำให้ผ่านทะลุเข้าไปได้ในระยะสั้นๆ นอกจากนี้พบว่า คลื่นความถี่ไมโครเวฟที่ต่างกันจะทะลุผ่านไปในชิ้นอาหารได้ระยะที่ต่างกันด้วย เช่น คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 915 เมกกะเฮิร์ต จะทะลุผ่านเข้าไปในชิ้นอาหารได้ลึกกว่าคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ต

2.3.6 การถ่ายเทความร้อนของคลื่นไมโครเวฟ

ตัวคลื่นไมโครเวฟเองไม่ได้เป็นตัวให้ความร้อน แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นในวัสดุนั้นเกิดจากการดูดซับคลื่นไมโครเวฟแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน โมเลกุลมีขั้วในผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งก็ คือ น้ำ ส่วนที่เกิดปฏิสัมพันธ์กับคลื่นไมโครเวฟ (interaction) เมื่อน้ำอยู่ในสนามไฟฟ้าคลื่นไมโครเวฟ น้ำจะจัดเรียงตัวให้เป็นไปในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้าคลื่นไมโครเวฟ เช่นเดียวกันกับเศษขี้เลื่อยเหล็กที่พยายามจัดเรียงตัวในสนามแม่เหล็ก แต่เนื่องจากทิศทางของขั้วสนามไฟฟ้าคลื่นไมโครเวฟเปลี่ยนสลับไปมาหลายล้านๆครั้งต่อวินาที โมเลกุลของน้ำซึ่งถูกจำกัดด้วยพื้นที่เล็กๆในอาหารก็จะเริ่มหมุนในทิศทางหนึ่ง เมื่อสนามไฟฟ้าสลับขั้วโมเลกุลน้ำก็จะหมุนในอีกทิศทางหนึ่งด้วยความถี่สูงเช่นกัน การหมุนสลับกันนี้ทำให้เกิดพลังงานจลน์สูงและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในที่สุด [44]

สมการที่นิยมใช้ในการคาดคะเนปริมาณความร้อนที่ได้จากการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ ดังแสดงด้านล่าง

$$P = 2\,TT\varepsilon^{\circ}\,\varepsilon''fE \qquad (1)$$

E = ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า

f = ค่าความถี่

ε = ค่าไดอิเล็กทริกเริ่มต้น

ε'' = ค่าไดอิเล็กทริกสูญเสีย

2.4 เตาอบไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นเทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ เช่น การสื่อสารคมนาคม อุตสาหกรรม และในครัวเรือน โดยในแต่ละด้านมีการใช้งานแตกต่างกัน [59] เช่น การสื่อสารคมนาคมจะใช้งานในส่วนของการส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟไปยังเครื่องรับในระบบต่างๆ ที่ความถี่ต่างกัน เช่น สัญญาณวิทยุ สัญญาณโทรทัศน์ สัญญาณโทรศัพท์ เป็นต้น ในด้านอุตสาหกรรมใช้ในระบบการผลิต จะใช้คลื่นไมโครเวฟในการผลิตความร้อนสำหรับกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การอบแห้งเซรามิค การอบแห้งกระดาษ การอบแห้งพลาสติก เป็นต้น งานในครัวเรือน คือ การผลิต ความร้อน ใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบอาหาร

การนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการผลิตเป็นความร้อนสำหรับใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมในประเทศไทยยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากราคาของเตาอบไมโครเวฟอุตสาหกรรม ซึ่งใช้ แมกนีตรอน (Magnetron) หรือแหล่งกำเนิดคลื่นที่มีกำลังวัตต์สูง และมีการทนความร้อนสูงเพื่อ จะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีราคาสูงอยู่ในช่วง 50,000-100,000 บาทต่อกิโลวัตต์ และไม่มีจำหน่ายในประเทศไทยซึ่ง แตกต่างกับเตาอบไมโครเวฟขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือนที่ใช้งาน อย่างแพร่หลายในประเทศไทย และยกระดับการผลิตเป็น Mass production ทำให้ราคาต่ำมากอยู่ในช่วง 1,500-2,500 บาทต่อกิโลวัตต์ ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า แมกนีตรอนที่ใช้กับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนสามารถนำมาพัฒนาให้ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้

2.4.1 หลักการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ

เครื่องกำเนิด คลื่นไมโครเวฟจะให้ความร้อนกับวัสดุโดยการแผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ [59] โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในวัสดุจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไป ซึ่งโมเลกุลของน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า คือ มีประจุบวกและประจุลบที่ตรงกันข้าม เมื่อคลื่นไมโครเวฟ

ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปโมเลกุลเหล่านี้ก็จะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขั้วเพื่อปรับเรียงตัวตามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสลับไปมาจึงส่งผลให้โมเลกุลเหล่านี้หมุนกลับไปกลับมาทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้น น้ำจึงกลายเป็นไอน้ำออกจากวัสดุซึ่งเวลาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ล่ะชนิดที่ มีปัจจัยแตกต่างกัน เช่น ความชื้นในชิ้นวัสดุ ความหนาแน่นและองค์ประกอบอื่น ในการกลายเป็นไอน้ำนั้นจะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนหากต้องการให้วัสดุแห้งจะต้องดูดไอน้ำนี้ออก แต่หากไม่ดูดออกวัสดุจะถูกนึ่งหรือต้มด้วยน้ำภายในชิ้นวัสดุเอง จึงทำให้เตาอบไมโครเวฟสามารถนำไปใช้งานในครัวเรือนได้อย่างแพร่หลาย

2.4.2 หลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุ

กลไกการเกิดความร้อน (Heating mechanism) ในกระบวนการทำความร้อน ด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้นจะต้องอาศัยกลไกลการเปลี่ยนแปลงพลังงาน 2 กลไก คือ การเหนี่ยวนำเชิงไอออนและกลไกการหมุนทั้งสองขั้ว [60] โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) กลไกชนิดการเหนี่ยวนำเชิงไอออน (Ionic conduction) กลไกนี้เริ่มขึ้นเมื่อประจุไอออนซึ่งเกิดการแตกตัวในสารละลายถูกเร่งด้วยแรงของสนามไฟฟ้าที่กระทำ เช่น สารละลายเกลือในน้ำ ซึ่งในสารละลายจะประกอบไปด้วยไอออนของโซเดียม (Na^+) คลอไรด์ (Cl^-) ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+, H^+) และไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ซึ่งเคลื่อนที่โดยสนามไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับประจุที่มีอยู่แต่ละไอออน จากการเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้ไอออนชนกับโมเลกุลของน้ำที่ยังไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออนอย่างต่อเนื่องส่งผลให้พลังงานจลน์เพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้ไอออนเกิดความเร่ง และส่งผลเป็นลูกโซ่ต่อการชนของโมเลกุลอื่นคล้ายกับการชนของลูกบิลเลียด เมื่อค่าประจุเปลี่ยนแปลงไอออนจึงมีความเร่งเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม โดยเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดด้วยอัตราความถี่สูงนับล้านครั้งต่อวินาที ทำให้มีการชนและถ่ายเทพลังงานเกิดขึ้นในระดับโมเลกุลอย่างมหาศาล ดังนั้นจึงมีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน 2 ขั้นตอน คือ พลังงานของสนามไฟฟ้าถูกเปลี่ยนแปลงไปตามพลังงานจลน์โดยการเหนี่ยวนำแบบบังคับทิศทาง (Ordered kinetic energy) ซึ่งถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นพลังงานจลน์ โดยการเหนี่ยวนำแบบไร้ทิศทาง (Disordered kinetic energy) ณ จุดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อนและพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นด้วยกลไกนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิหรือความถี่

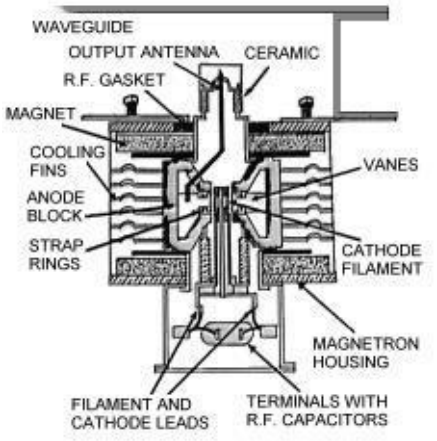
2) กลไกการชนิดการหมุนของทั้งสองขั้ว (Dipolar rotation) สำหรับโมเลกุลหลายๆ ชนิด เช่น โมเลกุลน้ำซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสองขั้ว (Dipole) โดยธรรมชาติ หมายถึง โมเลกุลมีสมบัติของการกระจายความจุที่ไม่สมมาตร เมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางส่วนโมเลกุลของสสารชนิดอื่นจะเกิดความไม่

สมมาตรได้ หากเกิดการเหนี่ยวนำโดยสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป ทั้งนี้เพราะสนามไฟฟ้าทำให้เกิดหน่วยแรงเค้นภายในโมเลกุล โดยขั้วทั้งสองได้รับอิทธิพลจากกลไกดังกล่าว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงขั้วอย่างรวดเร็วตามสนามไฟฟ้าที่มากระทำ เช่น คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ต สามารถทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของขั้วประจุถึง 4,900 ล้านครั้งต่อหนึ่งรอบคลื่น แม้ว่าในตอนที่เริ่มประจุในโมเลกุลจะมีการกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบหรืออย่างสุ่มก็จะได้รับผลให้มีการจัดเรียงประจุตามทิศทางหรือขั้วของสนามไฟฟ้าที่มากระทำ อย่างไรก็ตามเมื่อสนามไฟฟ้าที่มากระทำมีค่าลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ทำให้ขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าดังกล่าว เปลี่ยนกลับมามีการกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบเช่นเดิมคือ การคลายสนาม (Pelaxes) เช่นกัน เมื่อสนามไฟฟ้ามากระทำในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นการสร้างหรือการจัดเรียง (Alignment) และการคลายสนามที่ความถี่หนึ่งจะเกิดขึ้นนับล้านครั้ง ในหนึ่งวินาที เป็นการแปลงพลังงานสนามไฟฟ้าเป็นศักย์เก็บไว้ในวัสดุแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ หรือพลังงานความร้อนนั่นเอง นอกจากนั้นขนาดของโมเลกุลที่ขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิในขณะที่มีการสร้างหรือการจัดเรียงและการคลายสนามไฟฟ้านั้น จะถูกนิยามเป็นความถี่ของการคลายสนาม โดยโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก เช่น น้ำและโมโนเมอร์จะมีค่าความถี่ของการคลายสนามมากกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟและมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นเหตุให้การเปลี่ยนพลังงานไปเป็นความร้อนได้ช้าลง ในทางตรงกันข้ามกับโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เช่น โพลิเมอร์จะมีค่าความถี่ของการคลายสนามน้อยกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นได้ในบางสภาวะซึ่ง ก็คือมีการแปลงพลังงานไปเป็นความร้อนได้สูง และนำไปสู่การเกิดปรากฏการณ์เทอร์มอลรันอะเวย์ (Thermal runaway) ในวัสดุได้ง่าย มีข้อสนับสนุนถึงความจริงอย่างหนึ่งที่ว่าของเหลว เช่น นำ และโมโนเมอร์จะเป็นตัวดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้ดีกว่าโพลิเมอร์ เหตุนี้จึงสามารถนำไมโครเวฟ ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการอบแห้งที่มีองค์ประกอบเป็นของเหลวและโมโนเมอร์ได้

2.4.3 องค์ประกอบของเตาอบไมโครเวฟ

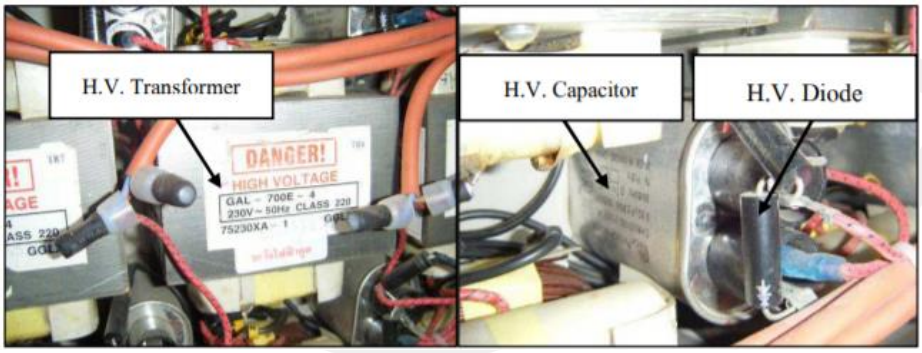
1) แหล่งกำเนิดคลื่น แมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่น ความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ต ลักษณะภายนอก ของแมกนีตรอน ดังแสดงในภาพประกอบ 12 ส่วนโครงสร้างภายในของแมกนีตรอนประกอบไปด้วย แอโนด (Anode) สายอากาศ (Antenna) ไส้หลอด (Filament or Heater) ซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทด (Cathode) และอื่นๆ ดังแสดงในภาพประกอบ 13

รูปภาพประกอบ 12 ภาพถ่ายของแมกนีตรอน [29]



รูปภาพประกอบ 13 แผนภาพโครงสร้างภายในของแมกนีตรอน [29]

2) วงจรสร้างความดันไฟฟ้าสูงชุดวงจรสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงประกอบด้วย High Voltage Transformer High Voltage Diode และ High Voltage Capacitor เพื่อสร้างความต่างศักย์ของแรงดันระหว่างขั้วแอโนดและแคโทด ลักษณะของอุปกรณ์วงจรสร้างความดันไฟฟ้าสูง ดังแสดงในภาพประกอบ 14



รูปภาพประกอบ 14 อุปกรณ์ในวงจรสร้างแรงดันไฟฟ้าสูง [27]

3) ท่อนำคลื่น (Wave guide) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นท่อกลมหรือท่อเหลี่ยมทำมาจากทองแดงหรืออะลูมิเนียม ทำหน้าที่ นำคลื่นจากแมกนีตรอนไปสู่ห้องอบ

4) ห้องอบ (Cavity) ห้องอบประกอบด้วยทางเข้าออกของวัสดุ ช่องระบายความชื้น ทางออกของคลื่น และอุปกรณ์กวนคลื่นสำหรับสร้างความสม่ำเสมอของการกระจายคลื่น โดยห้องอบจะถูกออกแบบให้ป้องกันการรั่วไหลของคลื่นสู่ภายนอกไม่เกิน 10 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

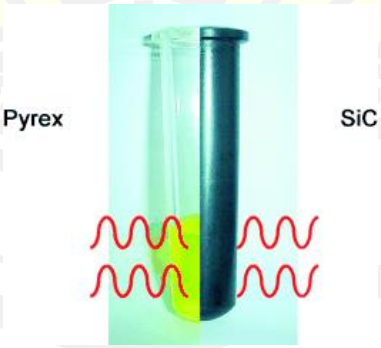
5) ระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอน การทำงานของแมกนีตรอนจะมีความร้อนเกิดขึ้นบริเวณโดยรอบ ต้องมีการระบายความร้อนออกโดยทั่วไปใช้พัดลมเป่าผ่านแมกนีตรอน สำหรับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน สำหรับในเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในอุตสาหกรรมระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอนจะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ เช่น การใช้นำเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น

6) ระบบควบคุมเตาอบไมโครเวฟมีระบบควบคุมการทำงานของ ส่วนประกอบของเครื่องเช่น การทำงานของแมกนีตรอน การทำงานของพัดลม และอุปกรณ์อื่นๆ ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาพบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ และการนำเตพาอบไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยในด้านต่างๆ เช่น การอบแห้งวัสดุ การทบสอบกับของแข็งวัสดุเซรามิก หรือสารกึ่งตัวนำ ซึ่งมีรายละเอียดดังสรุปต่อไปนี้

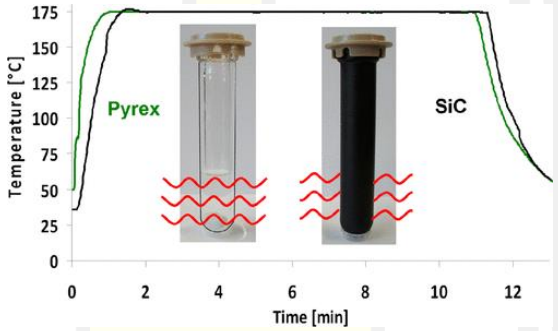
David Obermayer Mag. และคณะ [62] ทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำมันในไมโครเวฟ การใช้ขวดปฏิกิริยาที่ทำจากซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ดูดซับไมโครเวฟอย่างแรง (SiC) ในเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟจะจำลองการทดลองที่ดำเนินการในหม้อนึ่งความดันที่มีความร้อนเป็นสื่อกระแสไฟฟ้า เนื่องจากขวด SiC สามารถป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ เทคโนโลยีนี้ทำให้สามารถศึกษาความสำคัญของผลกระทบของไมโครเวฟได้



รูปภาพประกอบ 15 เคมีไมโครเวฟในขวดปฏิกิริยาซิลิคอนคาร์ไบด์ [30]

C. Oliver Kappe* [63] ในปี 2009 กลุ่มของเราได้พัฒนาวิธีการที่ค่อนข้างง่าย ซึ่งช่วยให้เราประเมินได้อย่างรวดเร็วว่าผลกระทบที่สังเกตพบในปฏิกิริยาไมโครเวฟช่วยเป็นผลมาจาก

ปรากฏการณ์ทางความร้อนล้วนๆ หรือเกี่ยวข้องกับผลกระทบของไมโครเวฟเฉพาะหรือแบบไม่ใช้ความร้อน เราใช้ภาชนะทำปฏิกิริยาไมโครเวฟที่ทำจากเซรามิกซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) เนื่องจากการดูดซับไมโครเวฟสูง เราจึงป้องกันเนื้อหาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นผลให้เราสามารถเลียนแบบการทดลองหม้อนึ่งความดันแบบธรรมดาภายในเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟได้อย่างง่ายดายภายใต้สภาวะของปฏิกิริยาที่ควบคุมอย่างระมัดระวัง การเปลี่ยนจากแก้วใสเกือบเข้าไมโครเวฟ (Pyrex) ไปเป็นขวดปฏิกิริยา SiC ที่ดูดซับไมโครเวฟอย่างแรงภายใต้สภาวะของปฏิกิริยาที่เหมือนกัน กับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่หลากหลาย รวมถึงปฏิกิริยาอินทรีย์ การเตรียมอนุภาคนาโนอนินทรีย์ และการไฮโดรไลซิสของโปรตีน ไปสู่ "การทดสอบ SiC" ในตัวอย่างเกือบทั้งหมดที่ศึกษา เราได้รับผลลัพธ์ที่เหมือนกันจากปฏิกิริยาที่ทำในขวด Pyrex และปฏิกิริยาที่ทำในขวด SiC ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยเหล่านี้ยืนยันว่าในกรณีส่วนใหญ่ ปรากฏการณ์อุณหภูมิจำนวนมากทำให้เกิดการปรับปรุงทางเคมีของไมโครเวฟและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่มีอิทธิพลโดยตรงต่อวิถีของปฏิกิริยา

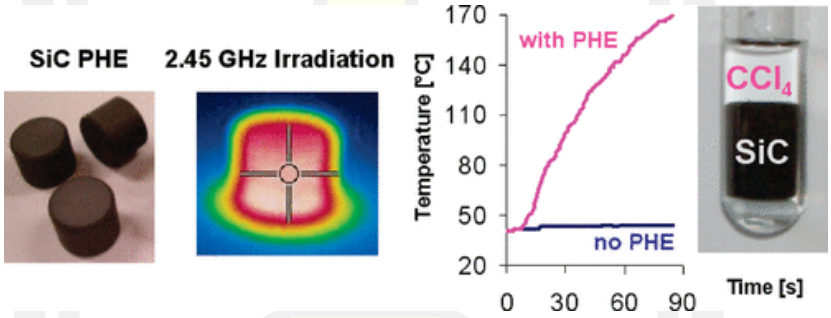


รูปภาพประกอบ 16 เคมีไมโครเวฟโดยใช้เทคโนโลยีเครื่องปฏิกรณ์ซิลิกอนคาร์ไบด์ [31]

LN Satapathy และคณะ [64] ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ชนิดละเอียดและโมโนฟาซิกถูกสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาโซลิดสเตตโดยตรงขององค์ประกอบ ได้แก่ ซิลิกอนและคาร์บอนใน สนามไมโครเวฟ 2.45 จิกะเฮิร์ต พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสร้างเฟสซิลิกอนคาร์ไบด์ถูกกำหนดโดยเวลาปฏิกิริยาและอุณหภูมิปฏิกิริยาที่แปรผัน ผงมีลักษณะเฉพาะสำหรับขนาดอนุภาค พื้นที่ผิว องค์ประกอบเฟส (การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์) และลักษณะทางสัณฐานวิทยา (กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด) การก่อตัวของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีเฟสบริสุทธิ์สามารถทำได้ที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส ในเวลาน้อยกว่า 5 นาทีในการสัมผัสกับไมโครเวฟ ส่งผลให้อนุภาคขนาดย่อยไมครอน ค่าพลังงานอิสระสำหรับ Si + C ⟶ ปฏิกิริยา SiC ถูกคำนวณสำหรับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง พบว่าสามารถบรรลุซิลิคอนคาร์ไบด์บริสุทธิ์แบบมีเฟสได้ที่อุณหภูมิประมาณ 1,135 องศาเซลเซียส

Jennifer M. และคณะ [65] ตรวจสอบการสังเคราะห์สารอินทรีย์โดยใช้ไมโครเวฟช่วยในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วโดยใช้กระบอกสูบของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เผาผนึก (SiC) ซึ่งเป็นวัสดุเฉื่อยทางเคมี

และดูดซับไมโครเวฟได้สูงเป็นองค์ประกอบความร้อนแบบพาสซีฟ (PHE) แผ่นทำความร้อนเหล่านี้ดูดซับพลังงานไมโครเวฟและถ่ายโอนพลังงานความร้อนที่สร้างขึ้นผ่านปรากฏการณ์การนำไปยังส่วนผสมของปฏิกิริยาในภายหลัง การใช้องค์ประกอบความร้อนแบบพาสซีฟช่วยให้ไมโครเวฟโปร่งใสหรือตัวทำละลายดูดซับได้ไม่ดี เช่น เฮกเซน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เตตระไฮโดรฟูแรน ไดออกเซนหรือโทลูอีน เพื่อให้ความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือด 200–250 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะไมโครเวฟในภาชนะปิดสนิท . สิ่งนี้เปิดโอกาสให้ดำเนินการสังเคราะห์ไมโครเวฟในสภาพแวดล้อมตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ซึ่งแสดงให้เห็นแล้วว่าประสบความสำเร็จสำหรับการแปลงสารอินทรีย์หลายอย่าง เช่น การจัดเรียงใหม่ของ Claisen ปฏิกิริยา Diels–Alder การเพิ่ม Michael N-alkylations และการจัดเรียงใหม่ของ Dimroth เทคนิคที่ไม่รุกล้ำนี้เป็นเครื่องมือที่มีค่าอย่างยิ่งในกรณีที่ตัวเลือกอื่นๆ ในการเพิ่มการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟของตัวกลางที่ทำปฏิกิริยา เช่น การเพิ่มของเหลวไอออนิกเป็นตัวช่วยทำความร้อน ไม่สามารถทำได้เนื่องจากความไม่เข้ากันของของเหลวไอออนิกกับซับสเตรตเฉพาะ องค์ประกอบความร้อน SiC สามารถทนต่อความร้อนและสารเคมีได้ถึง 1500 องศาเซลเซียส และเข้ากันได้กับตัวทำละลายหรือรีเอเจนต์ใดๆ

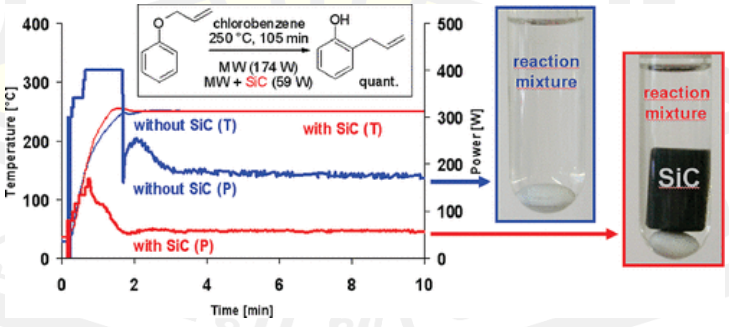


รูปภาพประกอบ 17 องค์ประกอบความร้อนแบบพาสซีฟซิลิคอนคาร์ไบด์ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์โดยใช้ไมโครเวฟช่วย [33]

Bernhard Gutmann และคณะ [66] ซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) คือวัสดุเซรามิกเฉื่อยเคมีที่ดูดซับไมโครเวฟอย่างแรงที่สามารถใช้ที่อุณหภูมิสูงมาก เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวสูงและมากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำ การฉายรังสีไมโครเวฟทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนในเซมิคอนดักเตอร์เซรามิกที่ให้ความร้อนแก่วัสดุอย่างมีประสิทธิภาพมากผ่านกลไกการให้ความร้อนแบบต้านทาน การใช้ปฏิกิริยา ซิลิกอนคาร์ไบด์ร่วมกับเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟแบบ singlemode ให้ป้องกันอุปกรณ์ภายในเกือบทั้งหมดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นการทดลองดังกล่าวจึงทำให้ไม่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่อเคมี เนื่องจากขวดเซรามิกเซมิคอนดักเตอร์ช่วยป้องกันการฉายรังสีไมโครเวฟจากการเจาะส่วนผสมของปฏิกิริยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ การมีส่วนร่วมของผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เลือกไว้ 21 แบบถูกประเมิน

โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้รับในขวดไวอัล Pyrex ที่โปร่งใสด้วยไมโครเวฟกับการทดลองที่ดำเนินการในขวดไวอัล SiC ที่อุณหภูมิปฏิกิริยาเท่ากัน จากปฏิกิริยาทั้ง 21 ปฏิกิริยา ผลลัพธ์ในเงื่อนไขการแปลง/ความบริสุทธิ์/ผลิตภัณฑ์ ให้ผลผลิตโดยใช้ขวดสองประเภทที่แตกต่างกัน แทบจะเหมือนกัน แสดงว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่มีโดยตรง อิทธิพลต่อวิถีปฏิกิริยา เนื่องจาก ทนต่อสารเคมีสูงของ SiC ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับสารกัดกร่อน สามารถทำได้โดยไม่ลดทอนลงของวัสดุตัวอย่าง ได้แก่ ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนฟลูออรีนกับคลอรีนที่อุณหภูมิสูงโดยใช้ไตรเอทิลเอมีน ไตรไฮโดรฟลูออไรด์ และการไฮโดรไลซิสของไนไตรล์ด้วยโพแทสเซียมที่เป็นน้ำไฮดรอกไซด์

Tahseen Razzaq และคณะ [67] การใช้องค์ประกอบความร้อนแบบพาสซีฟที่ทำจากซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เผาเฉื่อยทางเคมี (SiC) ช่วยให้ไมโครเวฟผสมปฏิกิริยาโปร่งใสหรือดูดซับได้ไม่ดีภายใต้สภาวะไมโครเวฟ เครื่องทำความร้อนรูปทรงกระบอกจะดูดซับพลังงานไมโครเวฟอย่างมีประสิทธิภาพ และต่อมาจะถ่ายโอนพลังงานความร้อนที่สร้างขึ้นผ่านปรากฏการณ์การนำไฟฟ้าไปยังส่วนผสมของปฏิกิริยา ในกรณีของของผสมปฏิกิริยาดูดซับไมโครเวฟระดับต่ำถึงปานกลาง การเพิ่มองค์ประกอบความร้อน SiC ส่งผลให้กำลังไมโครเวฟที่ต้องการลดลงอย่างมีนัยสำคัญประมาณ 30–70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการทดลองที่ดำเนินการโดยไม่ใช้องค์ประกอบความร้อนที่อุณหภูมิเดียวกัน วิธีการนี้ถูกใช้เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของพลังงานไมโครเวฟ (ความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า) ที่มีต่อปฏิกิริยาเคมี การเปลี่ยนรูปทางเคมีที่หลากหลายหกแบบได้ดำเนินการโดยมีหรือไม่มีองค์ประกอบความร้อน SiC ที่อุณหภูมิปฏิกิริยาเดียวกันแต่ที่ระดับพลังงานไมโครเวฟต่างกัน ในทั้งหกกรณี การแปลง/ผลตอบแทนที่วัดได้จะคล้ายกันไม่ว่าจะใช้องค์ประกอบความร้อนหรือไม่ก็ตาม พลังงานไมโครเวฟที่ใช้ไปไม่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา และมีเพียงอุณหภูมิที่ได้รับเท่านั้นที่ควบคุมผลลัพธ์ของกระบวนการทางเคมีเฉพาะภายใต้สภาวะไมโครเวฟ



รูปภาพประกอบ 18 การตรวจสอบการมีอยู่ของผลกระทบของไมโครเวฟแบบไม่ใช้ความร้อน/เฉพาะโดยใช้องค์ประกอบความร้อนของซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นตัวปรับกำลังไฟฟ้า [35]

Yubing Wang และคณะ [68] ท่อนาโนคาร์บอนผนังด้านเดียว(SWNTs) ที่รวมอยู่ในเมทริกซ์เซรามิกเป็นที่ทราบกันดีว่าช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกล ความร้อน และทางไฟฟ้าแก่วัสดุผสมที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนปัจจุบันสำหรับการสังเคราะห์ต้องเผชิญกับความท้าทาย เช่น การกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของ SWNT และความเสียหายระหว่างการประมวลผลที่อุณหภูมิสูงในสภาพแวดล้อมที่เกิดปฏิกิริยา สิ่งเหล่านี้นำไปสู่เมทริกซ์อินเทอร์เฟซที่ไม่ดีต่อการยึดเกาะของ SWNT และการใช้คุณสมบัติเฉพาะของท่อนาโนอย่างไร้ประสิทธิภาพ ที่นี่ เรารายงานปฏิกิริยาที่เกิดจากไมโครเวฟที่อุณหภูมิต่ำอย่างรวดเร็วเพื่อ สร้างคอมโพสิต ซิลิกอนคาร์ไบด์ระดับนาโน (SiC) –SWNT ปฏิกิริยาซึ่งเสร็จสมบูรณ์ใน 10 นาที เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของคลอโร-ไตรเมทิลไซเลนและนิวเคลียสพร้อมกันของทรงกลม SiC ระดับนาโนบนมัด SWNT คอมโพสิตจำนวนมากเป็นโครงสร้างคล้ายต้นไม้ที่แตกแขนงซึ่งประกอบด้วย SiC–SWNT ที่เรียงเป็นแถวสามมิติ เอกลักษณ์ของแนวทางนี้อยู่ที่การก่อตัวของเซรามิกโดยตรงบน SWNT มากกว่าการผสมทางกายภาพ หรือการเติบโตของท่อนาโนในเมทริกซ์เซรามิก

John Robinson และคณะ [69] การจำลองแม่เหล็กไฟฟ้าและการทดลองไมโครเวฟเพื่อแสดงให้เห็นว่าซิลิกอนคาร์ไบด์ ในตัวอย่างไม่ได้แยกสนามไฟฟ้าและความร้อนไดอิเล็กตริกของสารผสมปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นนอกเหนือจากการถ่ายเทความร้อนจาก ซิลิกอนคาร์ไบด์ การมีส่วนร่วมของความร้อนไดอิเล็กตริกและการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกของส่วนผสมและอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาตัวทำละลายซึ่งยังคงตัวดูดซับไมโครเวฟที่อุณหภูมิสูง เช่น ของเหลวไอออนิกจะร้อนภายใต้อิทธิพลโดยตรงของสนามไฟฟ้าตั้งแต่ 30–250 องศาเซลเซียส ตัวทำละลายที่ดูดซับไมโครเวฟได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงกว่าจะถูกให้ความร้อนโดยการถ่ายเทความร้อนเฉพาะที่อุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส เท่านั้น ผลลัพธ์ที่นำเสนอในบทความนี้ชี้ให้เห็นว่าไม่สามารถละเลยอิทธิพลของสนามไฟฟ้าได้เมื่อทำการแปลผลการทดลองการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟช่วยในซิลิกอนคาร์ไบด์

Markus Damm & C. Oliver Kappe [70] พฤติกรรมการทำความร้อนของแพลตฟอร์มปฏิกิริยาซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้การฉายรังสีไมโครเวฟ 2.45 จิกะเฮิร์ต ได้รับการตรวจสอบด้วยความช่วยเหลือของกล้องถ่ายภาพความร้อนออนไลน์และเซ็นเซอร์อุณหภูมิโพรบไฟเบอร์ออปติกหลายช่องสัญญาณที่วางอยู่ภายในหลุม/ขวดของแผ่นไมโครไทเตอร์ซิลิกอนคาร์ไบด์ การฉายรังสีด้วยไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนอย่างรวดเร็วและเป็นเนื้อเดียวกันของจานทั้งหมด โดยมีการเบี่ยงเบนของอุณหภูมิน้อยที่สุดที่บันทึกไว้ในตำแหน่งต่างๆ ของเพลตหรือภายในหลุม ในการทดลองที่มีการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์มัลติโหมดเฉพาะ ตัวทำละลายที่มีลักษณะการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟต่างกันสามารถให้ความร้อนแบบคู่ขนานกันในแต่ละหลุม/ขวดเล็กๆ ของแผ่นซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีอุณหภูมิที่ตั้งไว้เท่ากัน เนื่องจากความจุความร้อนสูงและการนำความร้อนสูงของซิลิกอนคาร์ไบด์ เพลตสามารถลดความไม่เท่าเทียมกันของสนามภายในช่องไมโครเวฟได้ แม้ว่าการให้ความร้อนของเพลตสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดภายในเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ แต่การทำความร้อนและการสังเคราะห์ก็สามารถทำได้โดยการใช้ความร้อนที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าแบบธรรมดาของ

เพลตซิลิกอนคาร์ไบด์บนเตามาตรฐาน เนื่องจากวัสดุซิลิกอนคาร์ไบด์ให้ความร้อนช้าลงภายใต้สภาวะเหล่านี้ จึงต้องใช้เวลาปฏิกิริยาค่อนข้างนาน

Touradj Ebadzadeh & Ehsan Marzban-Rad [71] ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีขนาดนาโนเมตรถูกสังเคราะห์จากส่วนผสมของซิลิกาเจลและคาร์บอนผ่านวิธีการให้ความร้อนทั้งแบบธรรมดาและแบบไมโครเวฟ จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาของการเกิด SiC พบว่ามีความแตกต่างที่น่าสังเกตสำหรับตัวอย่างที่ให้ความร้อนในสนามไมโครเวฟและเตาหลอม ในวิธีการทั่วไป ผงนาโน SiC สามารถสังเคราะห์ได้หลังจากให้ความร้อน 105 นาทีที่ 1500 °C ในโค้กเบดโดยใช้เตาหลอดไฟฟ้า การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของผงเหล่านี้แสดงให้เห็นว่ามีผงนาโน SiC ที่เท่ากันซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 8.2 นาโนเมตร ในกระบวนการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ผง SiC จะเกิดขึ้นหลังจาก 60 นาที ผงประกอบด้วยส่วนผสมของผงนาโน SiC มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 13.6 และ 58.2 นาโนเมตร และอนุภาคที่มีรูปร่างเป็นเส้นยาวมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 330 นาโนเมตร

โดยสรุป จากตัวอย่างงานวิจัยต่างๆ ที่ผู้วิจัยได้ศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นสามารถเป็นข้อยืนยันได้ถึงข้อดีของการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ โดยใช้เตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์และวิธีการทดลองในบทถัดไปได้ และเตาอบไมโครเวฟก็มีความเหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้กับการศึกษางานวิจัยนี้ในหลายๆ ด้าน

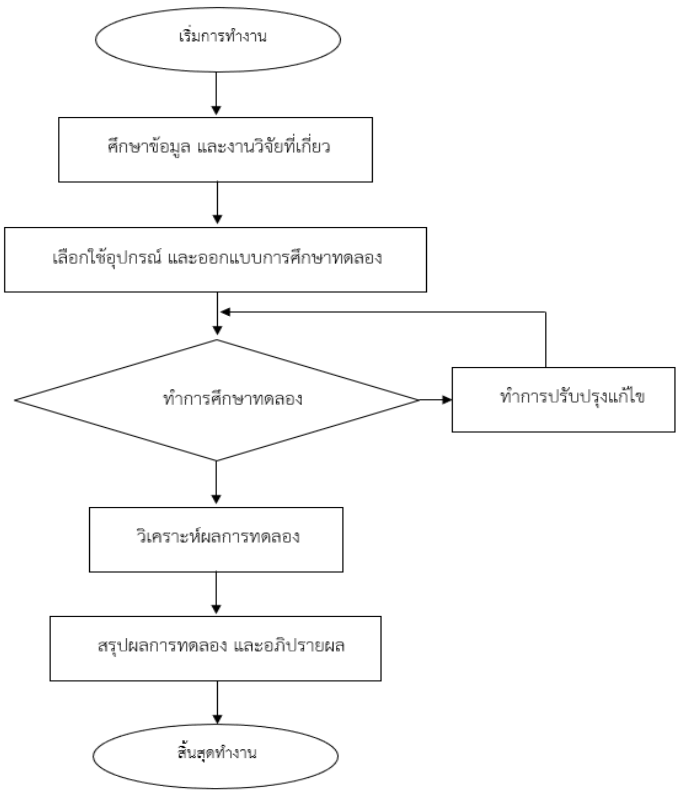
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ความเข้าใจที่จะนำไปใช้ในการดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับ การออกแบบการทดลองเพื่อที่จะศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาของซิลิกอนคาร์ไบด์ในสภาวะที่อยู่ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ โดยการวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ในแต่ละช่วงเวลา และวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร หรือแม้กระทั้งลักษณะของซิลิกอนคาร์ไบด์ว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ในมวลที่แตกต่างกัน แต่กำลังไฟฟ้าเท่ากัน หรือสนามไฟฟ้า จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำกับวัตถุที่อยู่บริเวณโดยรอบและเมื่อศักย์ไฟฟ้ามีความเข้มข้นของสนามไฟฟ้ามากพอก็จะทำให้เกิดการคายประจุไฟฟ้าในที่สุด

ดังนั้นผู้วิจัยได้นำข้อมูลและความรู้ที่ได้จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานวิจัยโดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน



รูปภาพประกอบ 19 Flowchart แสดงแผนการดำเนินงาน

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เตาอบไมโครเวฟ

เตาอบไมโครเวฟ ความจุ 20 ลิตร MS20A3010AL/ST เป็นเตาอบไมโครเวฟระดับครัวเรือนที่สามารถหาได้ง่าย และได้มาตรฐาน สามารถนำมาใช้ในงานวิจัยได้ ลักษณะของเครื่องดังภาพประกอบ 19 และข้อมูลจำเพาะของเครื่องดังแสดงในตารางที่ 3

รูปภาพประกอบ 20 เตาอบไมโครเวฟ ความจุ 20 ลิตร MS20A3010AL/ST [72]

ตารางที่ 3 ข้อมูลจำเพาะเตาอบไมโครเวฟ ความจุ 20 ลิตร MS20A3010AL/ST [72]

ขนาดความจุ	20 ลิตร
กำลังไฟ	700 วัตต์
ระดับความร้อน	5 ระดับ (สูง 700 วัตต์, ละลายน้ำแข็ง 250 วัตต์, ปานกลาง 380 วัตต์, ต่ำ 180 วัตต์)
สี	สีดำ
ขนาดภายใน (กว้าง x ลึก x สูง)	306 x 307.4 x 208.2 มม.
ขนาดภายนอก (กว้าง x ลึก x สูง)	440 x 337.5 x 259 มม.
น้ำหนักสุทธิ	10.5 กก.
น้ำหนักรวม	11.5กก.

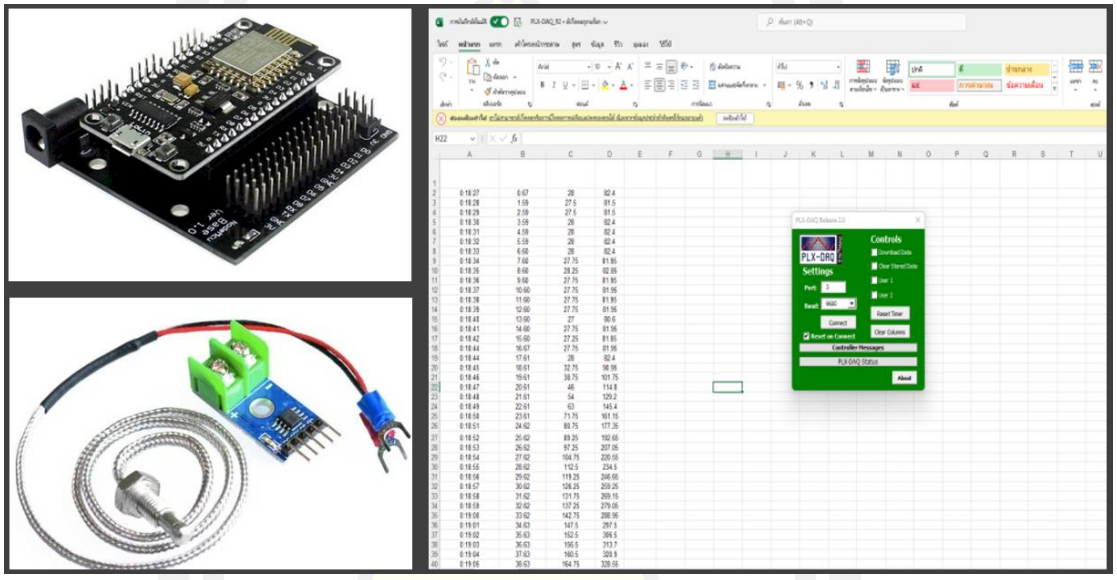
3.2.2 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

NodeMCU+Board+MAX6675 Module + Type K Thermocouple Temperature Sensor และโปรแกรม PLX-DAQ

- Type K Thermocouple Temperature Sensor วัดค่าอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0° C - 600° C

- MAX6675 Module ใช้กับ Type K Thermocoupleโดยใช้ Arduino เป็นตัวอ่านค่าข้อมูลสำหรับค่าอุณหภูมิ มีขนาด 12 บิต และมีความละเอียด 0.25 °C

- Parallax Data Acquisition tool (PLX-DAQ) เป็นโปรแกรมเสริมสำหรับบันทึกข้อมูลจากภายนอกลง Microsoft Excel. PLX-DAQ มีประโยชน์ในการรวบรวมข้อมูลจาก เซ็นเซอร์ ผ่าน Arduino ลงใน Excel



รูปภาพประกอบ 21 NodeMCU+Board+MAX6675 Module + Type K Thermocouple Temperature Sensor และโปรแกรม PLX-DAQ [73]

บทที่ 4

วิธีการและผลการทดลอง

ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัยและการออกแบบการทดลอง ส่วนในบทที่ 4 นี้จะเป็นผลการทดลองของงานวิจัย ซึ่งจะประกอบไปด้วยเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง สถานที่ เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้าที่กำหนดในการทดลอง และผลที่ได้จากการทดลอง จากนั้นจะนำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลโดยทำเป็นกราฟเพื่อวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

จากการศึกษางานวิจัย เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ในบทที่ 2 จึงได้นำมาเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งได้ทำการออกแบบวิธีการทดลองในบทที่ 3 โดยกำหนดให้มีตัวอย่างในการทดลองคือการใช้ซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลที่แตกต่างกันคือ 10 กรัม, 100 กรัม, และ 500 กรัม โดยนำซิลิกอนคาร์ไบด์ใส่ในภาชนะทนความร้อนซึ่งวัสดุที่ใช้ทำภาชนะนั้นเป็นชนิดเดียวกันกับเบ้าหลอม ดังภาพประกอบ 22 (ภาชนะเบ้าหลอม) ซึ่งตัวอย่างขนาดมวล 10 กรัม ดังภาพประกอบ 23 ขนาดมวล 100 กรัม ดังภาพประกอบ 24 ขนาดมวล 500 กรัม ดังภาพประกอบ 25 จากนั้นผู้วิจัยที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลงานวิจัย จึงได้มีการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟที่จะใช้ในการทดลองคือ 250 วัตต์ และได้มีการกำหนดให้ใช้วิธีการอบซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นเวลาเช่น 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 40 นาที, 50 นาที และ 60 นาที โดยนำซิลิกอนคาร์ไบด์เข้าไปอบในเตาไมโครเวฟให้ครบตามเวลาที่กำหนดก่อน จากนั้นจะเปิดเตาไมโครเวฟออกเพื่อนำหัววัดอุณหภูมิเข้าไปยังตำแหน่งตรงกลางของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่อยู่ในภาชนะเบ้าหลอม จากนั้นจะทำการเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมโดยเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที เป็นต้น อุปกรณ์ในการทดลองที่ใช้ในการทดลองจะแสดงดังต่อไปนี้

รูปภาพประกอบ 22 ภาชนะเบ้าหลอม

รูปภาพประกอบ 23 ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม

รูปภาพประกอบ 24 ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม

รูปภาพประกอบ 25 ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม

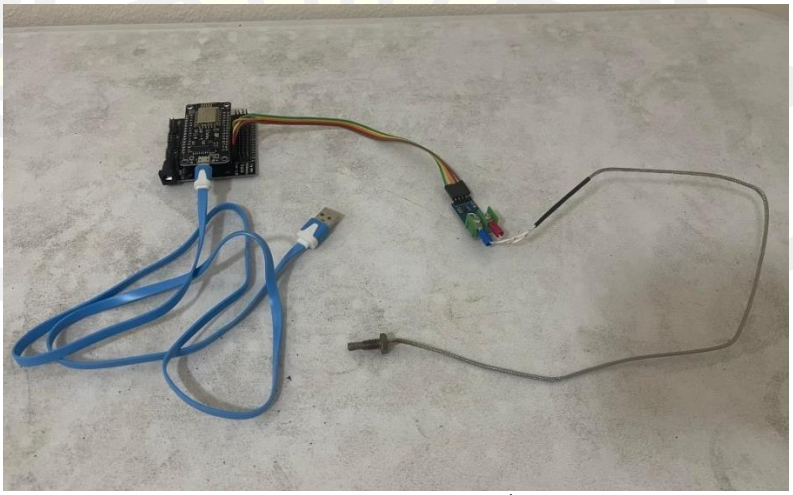
4.2 เตาไมโครเวฟ

เตาไมโครเวฟที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 700 วัตต์ และสามารถกำหนดเวลาต่อรอบได้สูงสุด 35 นาที (หากผู้วิจัยต้องทำการทดลองมากกว่า 35 นาที จึงจำเป็นจะต้องหมด Timer Delay เพื่อให้เวลาเพิ่มขึ้น ภาพประกอบ 26 แสดงเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในการทดลอง

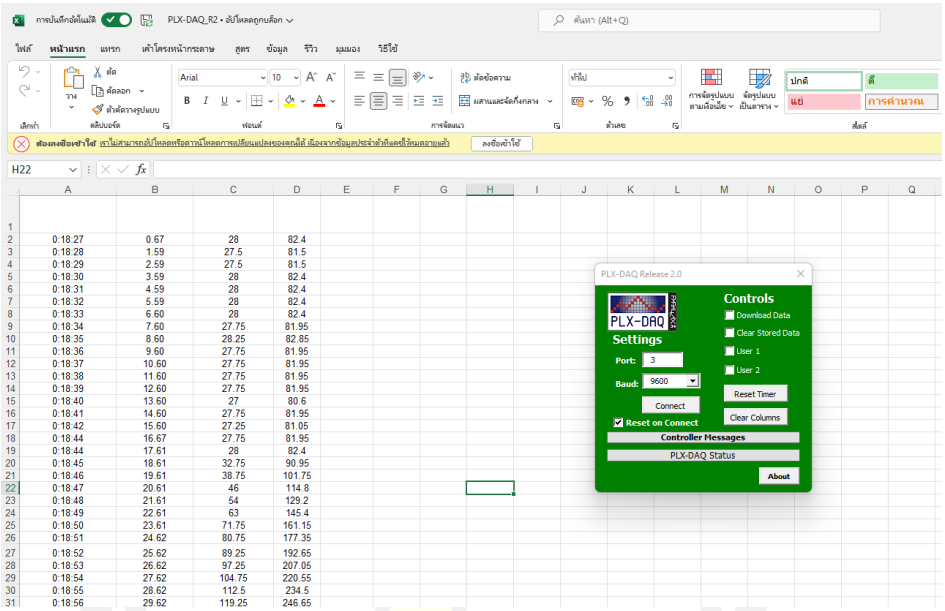
รูปภาพประกอบ 26 เตาไมโครเวฟ

4.3 เครื่องมือวัด

อุปกรณ์เครื่องมือวัด จะเป็นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิ้ลวัดอุณหภูมิได้สูงสุด 600 องศาเซลเซียส และอุปกรณ์ในการส่งข้อมูลดังภาพประกอบ 27 และโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลและบันทึกผลอุณหภูมิที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการวัด ดังภาพประกอบ 28 ดังนี้



รูปภาพประกอบ 27 อุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดอุณภูมิ



รูปภาพประกอบ 28 โปรแกรมที่ใช้ในการบันทึกผลการวัดอุณหภูมิ

4.4 วิธีการวัดอุณหภูมิ

ได้มีการกำหนดให้ใช้วิธีการอบซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นเวลาเช่น 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 40 นาที, 50 นาที และ 60 นาที โดยนำซิลิกอนคาร์ไบด์เข้าไปอบในเตาไมโครเวฟให้ครบตามเวลาที่กำหนดก่อน จากนั้นจะเปิดเตาไมโครเวฟออกเพื่อนำหัววัดอุณหภูมิเข้าไปยังตำแหน่งตรงกลางของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่อยู่ในภาชนะเบ้าหลอม จากนั้นจะทำการเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที เป็นต้น ดังภาพประกอบ 29-31 ดังต่อไปนี้

รูปภาพประกอบ 29 การวัดซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม ในเตาไมโครเวฟ

รูปภาพประกอบ 30 การวัดซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม ในเตาไมโครเวฟ

รูปภาพประกอบ 31 การวัดซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม ในเตาไมโครเวฟ

4.5 พื้นที่ในการทดลอง

พื้นที่ที่ใช้ในการทดลองจะเป็นห้องปิดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ โดยเครื่องปรับอากาศหรือเครื่องปรับอากาศภายในบ้านทั่วไป ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องคือ 25 องศาเซลเซียส ห้องการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 32 ดังต่อไปนี้

รูปภาพประกอบ 32 ห้องสถานที่ในการทดลอง

4.6 ผลการทดลอง

ก่อนที่จะทำการทดลองผู้วิจัยได้กำหนดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเตาไมโครเวฟคือ 250 วัตต์ ตามที่ได้ศึกษาในงานวิจัยต่างๆ ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทดลองด้วย และได้มีการกำหนดให้ใช้วิธีการอบซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นเวลาเช่น 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 40 นาที, 50 นาที และ 60 นาที โดยนำซิลิกอนคาร์ไบด์เข้าไปอบในเตาไมโครเวฟให้ครบตามเวลาที่กำหนดก่อน จากนั้นจะเปิดเตาไมโครเวฟออกเพื่อนำหัววัดอุณหภูมิเข้าไปยังตำแหน่งตรงกลางของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่อยู่ในภาชนะเบ้าหลอม จากนั้นจะทำการเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ซึ่งข้อมูลที่ผู้วิจัยจะนำมาใส่ในตารางผลการทดลอง เพื่อให้ข้อมูลกระชับซึ่งได้นำค่าที่ได้จากการวัดมาในทุก 1 นาที ดังตารางที่ 4-12 ต่อไปนี้

4.6.1 ผลการทดลองการนำซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลแตกต่างกัน อบในเตาไมโครเวฟในเวลาที่เท่ากัน

จากการออกแบบการทดลอง ตารางที่ 4-9 จะได้ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4 จะแสดงผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลแตกต่างกันคือ 10 กรัม, 100 กรัม และ 500 กรัม โดยใช้เวลาเท่ากันคือ 10 นาที

ตารางที่ 4 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 10 นาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)								
	ซิลิกอนคาร์ไบด์ 10 กรัม			ซิลิกอนคาร์ไบด์ 100 กรัม			ซิลิกอนคาร์ไบด์ 500 กรัม		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
1	54.75	61.25	63.50	315.25	214.75	393.75	232.00	209.25	223.25
2	64.25	64.50	67.25	348.75	242.25	399.25	271.75	220.75	234.25
3	63.25	61.75	65.75	330.50	237.75	363.75	277.25	218.25	231.75
4	60.25	59.25	64.00	302.00	226.75	328.75	273.00	211.75	224.75
5	57.75	56.50	61.75	275.25	213.25	294.75	265.50	203.00	217.75
6	55.00	53.75	59.75	250.00	200.75	266.25	255.75	194.75	211.75
7	52.00	51.00	57.00	226.75	187.75	243.25	247.00	187.75	203.00
8	50.00	49.25	54.50	207.50	177.75	221.75	237.00	181.25	194.75
9	48.00	47.75	51.75	189.00	168.75	204.75	228.00	174.75	187.75
10	46.25	46.00	50.00	175.00	159.75	189.25	219.00	168.75	181.25
11	44.75	44.75	48.50	161.75	150.75	177.25	211.00	162.75	174.75
12	43.00	42.75	47.00	151.25	143.25	165.75	203.00	156.75	168.75
13	41.75	42.00	45.75	140.75	135.75	154.75	194.75	151.75	162.75
14	41.00	41.00	44.25	130.50	129.75	145.75	187.75	146.75	156.75
15	40.00	39.75	43.25	121.75	123.75	137.25	181.25	142.00	151.75
16	39.00	39.00	41.75	113.25	117.75	129.25	174.75	137.50	146.75
17	38.50	38.50	40.50	107.00	112.25	122.25	168.75	133.25	142.00
18	37.75	37.50	39.75	99.75	107.75	115.75	162.75	128.75	137.50
19	37.25	37.00	38.50	94.00	103.75	110.25	156.75	124.75	133.25
20	35.75	36.25	38.00	88.75	99.75	104.75	151.75	120.75	128.75
21	35.50	36.00	37.00	84.50	95.75	100.25	146.75	117.25	124.75
22	35.00	35.25	36.25	80.00	92.25	96.25	142.00	114.25	120.75
23	34.75	35.00	35.75	76.00	88.25	91.25	137.50	111.00	117.25
24	34.50	34.50	35.50	72.50	85.25	87.75	133.25	107.25	114.25
25	33.50	33.75	34.75	68.75	82.25	84.75	128.75	104.50	111.00
26	33.00	33.25	34.25	65.50	79.75	81.25	124.75	101.50	107.25
27	32.75	32.75	34.00	62.75	76.75	77.75	120.75	98.50	104.50
28	32.50	32.50	33.50	59.75	74.25	75.25	117.25	96.25	101.50
29	32.25	32.00	33.00	57.50	72.25	72.25	114.25	93.75	98.50

30	32.00	31.75	32.50	55.25	68.75	68.75	111.00	90.75	96.25
31	31.25	31.25	31.75	53.50	65.50	65.50	107.25	88.50	93.75
32	30.50	31.00	31.50	51.50	62.75	62.75	104.50	86.25	90.75
33	30.50	30.75	31.00	49.50	59.75	59.75	101.50	84.25	88.50
34	30.50	31.00	31.00	46.50	57.50	57.50	98.50	82.50	86.25
35	29.75	30.50	30.75	45.25	55.25	55.25	96.25	80.50	84.25
36	29.75	30.50	30.5	45.00	53.50	53.50	93.75	78.50	82.50
37	29.50	30.25	30.25	43.25	51.50	51.50	90.75	77.00	80.50
38	29.25	30.00	30.25	42.00	49.50	49.50	88.50	75.00	78.50
39	29.25	29.75	30.00	40.00	46.50	46.50	86.25	72.75	77.00
40	29.25	29.50	29.75	39.75	45.25	45.25	84.25	71.50	75.00
41	28.75	29.25	29.50	38.50	45.00	45.00	82.50	70.00	72.75
42	28.75	29.00	29.25	36.00	43.25	43.25	80.50	69.00	71.50
43	28.25	28.75	29.00	33.75	42.00	42.00	78.50	67.50	70.00
44	28.25	28.50	28.75	33.00	40.00	40.00	77.00	66.00	69.00
45	27.75	28.25	28.50	32.25	39.75	39.75	75.00	64.75	67.50
46	27.75	28.00	28.25	31.75	38.50	38.50	72.75	63.75	66.00
47	27.25	27.75	28.25	30.75	36.00	36.00	71.50	62.50	64.75
48	27.25	27.75	28.00	30.00	33.75	33.75	70.00	60.75	63.75
49	26.75	27.50	28.00	30.00	33.00	33.00	69.00	59.75	62.50
50	26.25	27.25	27.75	29.75	32.25	32.25	67.50	58.75	60.75
51	25.75	27.25	27.25	29.75	31.75	31.75	66.00	57.50	59.75
52	25.75	26.75	27.25	29.50	30.75	30.75	64.75	57.00	58.75
53	25.25	26.75	27.00	29.25	30.00	30.00	63.75	55.75	57.50
54	25.25	26.25	26.75	29.25	30.00	30.00	62.50	54.75	57.00
55	25.00	26.00	26.25	29.25	29.75	29.75	60.75	54.25	55.75
56	25.00	26.00	26.00	28.75	29.75	29.75	59.75	53.00	54.75
57	25.00	25.75	26.00	28.75	29.50	29.50	58.75	52.00	54.25
58	25.00	25.25	25.50	28.25	29.25	29.25	57.50	51.50	53.00
59	25.00	25.00	25.25	28.25	29.25	29.25	57.00	50.75	52.00
60	25.00	25.00	25.00	27.75	29.25	29.25	55.75	49.75	51.50
61	25.00	25.00	25.00	27.75	28.75	28.75	54.75	49.00	50.75
62	25.00	25.00	25.00	27.25	28.75	28.75	54.25	48.50	49.75
63	25.00	25.00	25.00	26.75	28.25	28.25	53.00	48.00	49.00

64	25.00	25.00	25.00	26.25	28.25	28.25	52.00	47.25	48.50
65	25.00	25.00	25.00	25.75	27.75	27.75	51.50	46.75	48.00
66	25.00	25.00	25.00	25.50	27.75	27.75	50.75	46.25	47.25
67	25.00	25.00	25.00	25.25	27.25	27.25	49.75	45.50	46.75
68	25.00	25.00	25.00	25.00	26.75	26.75	49.00	45.00	46.25
69	25.00	25.00	25.00	25.00	26.25	26.25	48.50	44.50	45.50
70	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.75	48.00	44.00	45.00
71	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.50	47.25	43.50	44.50
72	25.00	25.00	25.00	25.00	25.25	25.25	46.75	43.00	44.00
73	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	46.25	42.75	43.50
74	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	45.50	42.50	43.00
75	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	45.00	41.25	42.75
76	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	44.50	41.25	42.50
77	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	44.00	41.00	41.25
78	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	43.50	40.75	41.25
79	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	43.00	40.25	41.00
80	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	42.75	40.25	40.75
81	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	42.50	39.25	40.25
82	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	41.25	39.00	40.25
83	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	41.25	38.75	39.25
84	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	41.00	38.75	39.00
85	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	40.75	38.50	38.75
86	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	40.25	38.00	38.75
87	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	40.25	37.50	38.50
88	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	39.25	37.50	38.00
89	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	39.00	37.25	37.50
90	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.75	36.50	37.50
91	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.75	36.25	37.25
92	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.50	36.25	36.50
93	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.00	36.00	36.25
94	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.50	35.75	36.25
95	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.50	35.50	36.00
96	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.25	34.75	35.75
97	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.50	34.25	35.50

98	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.25	33.75	34.75
99	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.25	33.25	34.25
100	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.00	32.75	33.75
101	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	35.75	32.00	33.25
102	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	35.50	31.75	32.75
103	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	34.75	31.25	32.00
104	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	34.25	30.75	31.75
105	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	33.75	30.25	31.25
106	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	33.25	30.00	30.75
107	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	32.75	29.75	30.25
108	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	32.00	29.50	30.00
109	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	31.75	29.25	29.75
110	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	31.25	28.75	29.50
111	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	30.75	28.75	29.25
112	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	30.25	28.00	28.75
113	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	30.00	27.75	28.75
114	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	29.75	27.50	28.00
115	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	29.50	27.50	27.75
116	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	29.25	26.75	27.50
117	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	28.75	26.25	27.50
118	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	28.75	25.75	26.75
119	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	28.00	25.75	26.25
120	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	27.75	25.50	25.75
121	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	27.50	25.25	25.75
122	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	27.50	25.00	25.50
123	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.75	25.00	25.25
124	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.25	25.00	25.00
125	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.00	25.00
126	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.00	25.00
127	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.00	25.00
128	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.25	25.00	25.00
129	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
130	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

ตารางที่ 5 จะแสดงผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลแตกต่างกันคือ 10 กรัม, 100 กรัม และ 500 กรัม โดยใช้เวลาเท่ากันคือ 20 นาที

ตารางที่ 5 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 20 นาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)								
	ซิลิกอนคาร์ไบด์ 10 กรัม			ซิลิกอนคาร์ไบด์ 100 กรัม			ซิลิกอนคาร์ไบด์ 500 กรัม		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
1	81.25	81.75	76.50	350.25	341.25	296.75	220.50	306.25	321.25
2	83.00	84.25	78.75	365.25	385.25	399.50	258.75	346.25	342.75
3	78.75	78.50	75.25	339.50	368.75	390.25	263.75	345.75	340.75
4	74.00	74.50	71.50	312.75	343.25	361.75	260.00	337.25	331.25
5	70.00	70.50	64.75	286.25	316.75	332.75	251.75	326.75	319.25
6	66.50	65.75	63.50	262.50	293.25	305.25	242.75	315.25	307.25
7	62.00	62.75	61.75	242.50	273.25	281.25	234.00	303.75	294.75
8	60.25	60.00	59.25	224.25	254.75	259.75	225.50	293.75	283.75
9	58.00	57.75	57.00	208.00	238.25	241.75	216.50	282.75	272.75
10	55.75	55.50	54.75	194.25	223.25	226.25	208.50	273.75	262.25
11	53.25	53.50	52.50	181.00	210.75	211.25	201.50	264.25	251.25
12	51.50	51.00	50.25	170.00	198.75	198.75	194.25	255.75	242.75
13	49.00	49.25	48.50	159.50	188.25	188.25	187.25	242.75	234.00
14	47.00	47.50	46.75	149.50	178.75	178.75	181.25	234.00	225.50
15	46.25	46.25	45.00	141.25	169.75	169.75	175.00	225.50	216.50
16	45.00	44.75	42.25	132.75	161.75	161.75	169.25	216.50	208.50
17	42.25	41.75	40.50	125.00	154.25	154.25	164.25	208.50	201.50
18	40.00	39.75	38.50	118.50	147.25	147.25	159.75	201.50	194.25
19	38.75	38.50	37.25	111.50	140.25	140.25	154.50	194.25	187.25
20	37.00	37.00	36.00	106.25	133.75	133.75	149.75	187.25	181.25
21	35.75	35.50	35.00	101.25	128.25	128.25	145.00	181.25	175.00
22	35.25	35.00	34.50	95.75	123.25	123.25	141.00	175.00	169.25
23	34.50	34.25	34.25	91.25	118.25	118.25	137.25	169.25	164.25
24	33.75	33.50	33.00	87.50	112.75	112.75	133.50	164.25	159.75
25	33.25	33.00	32.75	84.25	108.75	108.75	129.50	159.75	154.50
26	32.75	32.50	32.72	80.50	104.75	104.75	125.25	154.50	149.75

27	32.50	32.50	32.00	77.50	100.25	100.25	122.25	149.75	145.00
28	32.25	32.00	31.75	75.00	96.75	96.75	119.25	145.00	141.00
29	32.00	31.50	31.25	72.25	93.75	93.75	116.50	141.00	137.25
30	31.25	31.00	30.75	69.75	90.25	90.25	113.25	137.25	133.50
31	30.50	30.25	30.25	66.75	86.75	86.75	110.25	133.50	129.50
32	30.50	30.25	3000	64.75	83.75	83.75	107.00	129.50	125.25
33	30.50	30.00	29.75	62.75	81.25	81.25	104.75	125.25	122.25
34	29.75	29.50	29.25	60.75	78.25	78.25	101.75	122.25	119.25
35	29.75	29.50	29.25	59.50	75.75	75.75	99.75	119.25	116.50
36	29.50	29.25	29.00	57.50	73.75	73.75	97.75	116.50	113.25
37	29.25	29.25	29.00	56.00	71.25	71.25	94.75	113.25	110.25
38	29.25	29.00	28.75	55.25	68.75	68.75	92.75	110.25	107.00
39	29.25	29.00	28.75	53.75	67.25	67.25	89.75	107.00	104.75
40	28.75	28.75	28.50	52.75	65.25	65.25	88.75	104.75	101.75
41	28.75	28.50	28.50	51.50	64.75	64.75	86.75	101.75	99.75
42	28.25	28.50	28.25	50.25	62.75	62.75	84.00	99.75	97.75
43	28.25	28.25	28.00	49.50	60.75	60.75	83.00	97.75	94.75
44	27.75	28.00	27.75	48.00	59.50	59.50	80.75	94.75	92.75
45	27.75	27.75	27.75	48.00	57.50	57.50	79.50	92.75	89.75
46	27.25	27.75	27.25	46.75	56.00	56.00	78.25	89.75	88.75
47	27.25	27.50	27.25	46.25	55.25	55.25	76.75	88.75	86.75
48	26.75	27.25	26.50	45.50	53.75	53.75	74.50	86.75	84.00
49	26.25	26.75	26.50	45.00	52.75	52.75	73.75	84.00	83.00
50	25.75	26.25	26.00	44.25	51.50	51.50	72.50	83.00	80.75
51	25.75	26.25	26.00	43.50	50.25	50.25	71.00	80.75	79.50
52	25.25	26.00	25.75	42.75	49.50	49.50	69.25	79.50	78.25
53	25.25	25.75	25.75	42.75	48.00	48.00	68.25	78.25	76.75
54	25.00	25.50	25.50	42.00	48.00	48.00	67.00	76.75	74.50
55	25.00	25.50	25.50	41.75	46.75	46.75	65.75	74.50	73.75
56	25.00	25.25	25.00	41.50	46.25	46.25	64.25	73.75	72.50
57	25.00	25.25	25.00	40.75	45.50	45.50	63.00	72.50	71.00
58	25.00	25.00	25.00	40.50	45.00	45.00	62.00	71.00	69.25
59	25.00	25.00	25.00	40.25	44.25	44.25	61.00	69.25	68.25
60	25.00	25.00	25.00	39.75	43.50	43.50	59.75	68.25	67.00

61	25.00	25.00	25.00	39.25	42.75	42.75	59.25	67.00	65.75
62	25.00	25.00	25.00	39.25	42.75	42.75	58.50	65.75	64.25
63	25.00	25.00	25.00	38.75	42.00	42.00	57.50	64.25	63.00
64	25.00	25.00	25.00	38.50	41.75	41.75	56.50	63.00	62.00
65	25.00	25.00	25.00	38.25	41.50	41.50	55.75	62.00	61.00
66	25.00	25.00	25.00	37.75	40.75	40.75	54.25	61.00	59.75
67	25.00	25.00	25.00	36.75	40.50	40.50	53.50	59.75	59.25
68	25.00	25.00	25.00	36.75	40.25	40.25	53.00	59.25	58.50
69	25.00	25.00	25.00	36.50	39.75	39.75	52.25	58.50	57.50
70	25.00	25.00	25.00	36.25	39.25	39.25	51.75	57.50	56.50
71	25.00	25.00	25.00	36.00	39.25	39.25	50.50	56.50	55.75
72	25.00	25.00	25.00	35.75	38.75	38.75	50.25	55.75	54.25
73	25.00	25.00	25.00	35.75	38.50	38.50	49.50	54.25	53.50
74	25.00	25.00	25.00	35.75	38.25	38.25	48.50	53.50	53.00
75	25.00	25.00	25.00	35.50	37.75	37.75	48.00	53.00	52.25
76	25.00	25.00	25.00	35.25	36.75	36.75	46.75	52.25	51.75
77	25.00	25.00	25.00	35.25	36.75	36.75	46.75	51.75	50.50
78	25.00	25.00	25.00	34.75	36.50	36.50	45.50	50.50	50.25
79	25.00	25.00	25.00	34.50	36.25	36.25	45.50	50.25	49.50
80	25.00	25.00	25.00	34.25	36.00	36.00	45.00	49.50	48.50
81	25.00	25.00	25.00	33.75	35.75	35.75	44.50	48.50	48.00
82	25.00	25.00	25.00	33.50	35.75	35.75	43.50	48.00	46.75
83	25.00	25.00	25.00	33.25	35.75	35.75	43.25	46.75	46.75
84	25.00	25.00	25.00	32.75	35.50	35.50	43.00	46.75	45.50
85	25.00	25.00	25.00	32.25	35.25	35.25	41.75	45.50	45.50
86	25.00	25.00	25.00	32.25	35.25	35.25	41.75	45.50	45.00
87	25.00	25.00	25.00	31.75	34.75	34.75	41.25	45.00	44.50
88	25.00	25.00	25.00	31.75	34.50	34.50	41.00	44.50	43.50
89	25.00	25.00	25.00	31.25	34.25	34.25	40.50	43.50	43.25
90	25.00	25.00	25.00	31.25	33.75	33.75	39.75	43.25	43.00
91	25.00	25.00	25.00	30.75	33.50	33.50	39.75	43.00	41.75
92	25.00	25.00	25.00	30.50	33.25	33.25	39.25	41.75	41.75
93	25.00	25.00	25.00	30.25	32.75	32.75	39.00	41.75	41.25
94	25.00	25.00	25.00	30.25	32.25	32.25	38.50	41.25	41.00

95	25.00	25.00	25.00	29.75	32.25	32.25	38.50	41.00	40.50
96	25.00	25.00	25.00	29.50	31.75	31.75	37.50	40.50	39.75
97	25.00	25.00	25.00	29.25	31.75	31.75	37.25	39.75	39.75
98	25.00	25.00	25.00	28.75	31.25	31.25	37.25	39.75	39.25
99	25.00	25.00	25.00	28.50	31.25	31.25	36.50	39.25	39.00
100	25.00	25.00	25.00	28.25	30.75	30.75	36.75	39.00	38.50
101	25.00	25.00	25.00	27.75	30.50	30.50	36.00	38.50	38.50
102	25.00	25.00	25.00	27.50	30.25	30.25	35.75	38.50	37.50
103	25.00	25.00	25.00	27.50	30.25	30.25	35.50	37.50	37.25
104	25.00	25.00	25.00	27.25	29.75	29.75	35.25	37.25	37.25
105	25.00	25.00	25.00	26.75	29.50	29.50	34.50	37.25	36.50
106	25.00	25.00	25.00	26.75	29.25	29.25	34.75	36.50	36.75
107	25.00	25.00	25.00	26.50	28.75	28.75	34.75	36.75	36.00
108	25.00	25.00	25.00	26.25	28.50	28.50	34.50	36.00	35.75
109	25.00	25.00	25.00	25.75	28.25	28.25	33.75	35.75	35.50
110	25.00	25.00	25.00	25.75	27.75	27.75	32.25	35.50	35.25
111	25.00	25.00	25.00	25.50	27.50	27.50	31.50	35.25	34.50
112	25.00	25.00	25.00	25.50	27.50	27.50	31.25	34.50	34.75
113	25.00	25.00	25.00	25.00	27.25	27.25	30.75	34.75	34.75
114	25.00	25.00	25.00	25.00	26.75	26.75	30.25	34.75	34.50
115	25.00	25.00	25.00	25.00	26.75	26.75	29.75	34.50	33.75
116	25.00	25.00	25.00	25.00	26.50	26.50	29.00	33.75	32.25
117	25.00	25.00	25.00	25.00	26.25	26.25	28.50	32.25	31.50
118	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.75	28.25	31.50	31.25
119	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.75	27.25	31.25	30.75
120	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	27.00	30.75	30.25
121	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.50	30.25	29.75
122	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.50	29.75	29.00
123	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.25	29.00	28.50
124	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.00	28.50	28.25
125	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	28.25	27.25
126	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	27.25	27.00
127	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	27.00	26.25
128	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.25	26.25	25.50

129	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.25
130	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

ตารางที่ 6 จะแสดงผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลแตกต่างกันคือ 10 กรัม, 100 กรัม และ 500 กรัม โดยใช้เวลาเท่ากันคือ 30 นาที

ตารางที่ 6 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 30 นาที

เวลา (นาที)	**อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)**								
	ซิลิกอนคาร์ไบด์ 10 กรัม			**ซิลิกอนคาร์ไบด์ 100 กรัม**			**ซิลิกอนคาร์ไบด์ 500 กรัม**		
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**
0	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
1	80.50	75.50	76.25	425.00	356.75	434.25	131.50	303.50	342.00
2	90.75	86.25	88.75	451.00	400.75	449.25	397.75	334.75	377.25
3	89.25	83.75	84.50	414.25	386.25	419.75	424.25	330.75	377.75
4	85.25	79.75	80.75	377.50	358.25	386.75	422.50	319.25	369.25
5	81.00	73.50	76.00	344.00	330.25	355.75	411.00	309.25	357.25
6	76.75	70.00	72.00	313.00	303.25	328.75	396.75	297.75	343.25
7	72.75	68.50	69.00	287.50	281.75	303.25	382.00	286.75	330.25
8	69.50	63.75	65.00	265.50	262.25	282.75	366.50	276.25	319.25
9	65.75	60.25	62.75	245.50	243.75	264.25	351.50	266.75	309.25
10	61.50	58.75	60.00	227.75	228.25	247.75	338.25	257.75	297.75
11	58.75	57.25	57.00	212.00	214.75	231.75	324.25	249.25	286.75
12	56.75	55.25	56.50	198.50	201.25	219.75	312.25	241.75	276.25
13	53.75	53.50	55.00	185.75	191.25	206.75	300.25	233.75	266.75
14	50.75	52.75	53.50	174.50	181.25	197.25	289.00	226.75	257.75
15	49.00	51.00	51.75	164.00	171.25	187.25	278.25	219.75	249.25
16	47.50	49.50	50.00	154.50	162.75	177.75	268.50	213.25	241.75
17	46.25	48.00	48.75	145.75	155.25	168.75	258.50	207.25	233.75
18	44.75	46.75	48.00	138.00	146.75	161.25	249.50	204.25	226.75
19	42.75	45.50	47.50	130.25	140.25	153.75	240.75	197.50	219.75
20	40.75	44.00	45.50	123.50	133.75	146.75	233.00	191.25	213.25
21	40.25	43.25	44.50	116.75	127.75	140.25	225.25	184.75	207.25
22	39.25	42.50	44.00	111.00	122.25	133.75	217.75	179.50	204.25

23	37.50	42.00	42.25	105.25	116.75	127.75	210.75	173.50	197.50
24	37.00	40.50	41.50	100.75	111.00	122.25	204.25	168.25	191.25
25	36.25	40.00	41.00	96.50	105.25	116.75	197.50	163.50	184.75
26	35.00	38.75	40.25	92.00	100.75	111.00	191.25	158.75	179.50
27	33.75	38.00	39.00	87.75	96.50	105.25	184.75	154.50	173.50
28	33.00	37.25	38.25	84.25	92.00	100.75	179.50	148.75	168.25
29	32.25	36.50	37.50	80.25	87.75	96.50	173.50	145.50	163.50
30	31.25	35.25	37.00	77.50	84.25	92.00	168.25	140.25	158.75
31	31.75	35.00	36.50	74.50	80.25	87.75	163.50	137.00	154.50
32	31.00	34.50	35.50	71.25	77.50	84.25	158.75	133.00	148.75
33	30.75	33.75	35.25	69.50	74.50	80.25	154.50	129.00	145.50
34	30.75	33.50	35.00	67.00	71.25	77.50	148.75	125.75	140.25
35	30.00	33.00	34.25	65.25	69.50	74.50	145.50	122.50	137.00
36	29.50	32.00	34.00	62.75	67.00	71.25	140.25	119.00	133.00
37	29.25	31.75	33.50	61.25	65.25	69.50	137.00	116.25	129.00
38	29.25	31.50	33.00	59.25	62.75	67.00	133.00	113.00	125.75
39	29.00	31.00	32.50	58.00	61.25	65.25	129.00	110.00	122.50
40	28.50	30.25	32.00	56.25	59.25	62.75	125.75	106.50	119.00
41	28.75	30.00	31.75	54.75	58.00	61.25	122.50	104.00	116.25
42	28.25	29.75	31.25	53.25	56.25	59.25	119.00	101.50	113.00
43	28.25	29.50	31.00	51.25	54.75	58.00	116.25	99.00	110.00
44	28.25	29.00	30.75	50.75	53.25	56.25	113.00	96.00	106.50
45	27.75	28.75	30.75	49.50	51.25	54.75	110.00	94.00	104.00
46	27.75	28.50	30.50	48.75	50.75	53.25	106.50	91.75	101.50
47	27.25	28.25	30.00	48.00	49.50	51.25	104.00	89.25	99.00
48	27.25	28.50	29.75	47.00	48.75	50.75	101.50	87.25	96.00
49	26.75	27.75	29.50	46.25	48.00	49.50	99.00	84.75	94.00
50	26.25	27.50	29.25	45.25	47.00	48.75	96.00	82.75	91.75
51	25.75	27.00	28.75	44.50	46.25	48.00	94.00	81.50	89.25
52	25.75	26.75	28.25	43.25	45.25	47.00	91.75	79.50	87.25
53	25.25	26.50	27.75	43.25	44.50	46.25	89.25	77.50	84.75
54	25.25	26.25	27.25	42.75	43.25	45.25	87.25	76.00	82.75
55	25.00	26.00	26.75	42.00	43.25	44.50	84.75	74.50	81.50
56	25.00	25.75	26.50	41.50	42.75	43.25	82.75	72.75	79.50

57	25.00	25.50	26.00	41.00	42.00	43.25	81.50	70.75	77.50
58	25.00	25.25	25.50	40.50	41.50	42.75	79.50	69.25	76.00
59	25.00	25.00	25.25	39.75	41.00	42.00	77.50	68.00	74.50
60	25.00	25.00	25.00	39.25	40.50	41.50	76.00	66.75	72.75
61	25.00	25.00	25.00	39.00	39.75	41.00	74.50	65.00	70.75
62	25.00	25.00	25.00	38.75	39.25	40.50	72.75	64.00	69.25
63	25.00	25.00	25.00	38.00	39.00	39.75	70.75	63.25	68.00
64	25.00	25.00	25.00	37.75	38.75	39.25	69.25	61.50	66.75
65	25.00	25.00	25.00	37.50	38.00	39.00	68.00	60.75	65.00
66	25.00	25.00	25.00	36.75	37.75	38.75	66.75	59.00	64.00
67	25.00	25.00	25.00	36.75	37.50	38.00	65.00	58.50	63.25
68	25.00	25.00	25.00	35.25	36.75	37.75	64.00	57.50	61.50
69	25.00	25.00	25.00	35.00	36.75	37.50	63.25	56.75	60.75
70	25.00	25.00	25.00	34.25	35.25	36.75	61.50	55.00	59.00
71	25.00	25.00	25.00	33.75	35.00	36.75	60.75	54.25	58.50
72	25.00	25.00	25.00	33.50	34.25	35.25	59.00	53.50	57.50
73	25.00	25.00	25.00	33.25	33.75	35.00	58.50	53.00	56.75
74	25.00	25.00	25.00	32.75	33.50	34.25	57.50	51.75	55.00
75	25.00	25.00	25.00	32.25	33.25	33.75	56.75	51.50	54.25
76	25.00	25.00	25.00	32.25	32.75	33.50	55.00	50.50	53.50
77	25.00	25.00	25.00	31.75	32.25	33.25	54.25	50.00	53.00
78	25.00	25.00	25.00	31.75	32.25	32.75	53.50	49.25	51.75
79	25.00	25.00	25.00	31.25	31.75	32.25	53.00	48.25	51.50
80	25.00	25.00	25.00	31.25	31.75	32.25	51.75	47.25	50.50
81	25.00	25.00	25.00	30.75	31.25	31.75	51.50	47.00	50.00
82	25.00	25.00	25.00	30.50	31.25	31.75	50.50	46.25	49.25
83	25.00	25.00	25.00	30.25	30.75	31.25	50.00	46.00	48.25
84	25.00	25.00	25.00	30.25	30.50	31.25	49.25	45.25	47.25
85	25.00	25.00	25.00	29.75	30.25	30.75	48.25	45.00	47.00
86	25.00	25.00	25.00	29.50	30.25	30.50	47.25	44.25	46.25
87	25.00	25.00	25.00	29.25	29.75	30.25	47.00	44.00	46.00
88	25.00	25.00	25.00	28.75	29.50	30.25	46.25	43.50	45.25
89	25.00	25.00	25.00	28.50	29.25	29.75	46.00	42.75	45.00
90	25.00	25.00	25.00	28.25	28.75	29.50	45.25	42.25	44.25

91	25.00	25.00	25.00	27.75	28.50	29.25	45.00	41.75	44.00
92	25.00	25.00	25.00	27.50	28.25	28.75	44.25	41.25	43.50
93	25.00	25.00	25.00	27.50	27.75	28.50	44.00	41.25	42.75
94	25.00	25.00	25.00	27.25	27.50	28.25	43.50	40.75	42.25
95	25.00	25.00	25.00	26.75	27.50	27.75	42.75	40.00	41.75
96	25.00	25.00	25.00	26.75	27.25	27.50	42.25	40.00	41.25
97	25.00	25.00	25.00	26.50	26.75	27.50	41.75	39.50	41.25
98	25.00	25.00	25.00	26.25	26.75	27.25	41.25	39.25	40.75
99	25.00	25.00	25.00	25.75	26.50	26.75	41.25	39.00	40.00
100	25.00	25.00	25.00	25.75	26.25	26.75	40.75	38.50	40.00
101	25.00	25.00	25.00	25.50	25.75	26.50	40.00	38.25	39.50
102	25.00	25.00	25.00	25.50	25.75	26.25	40.00	38.00	39.25
103	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.75	39.50	37.75	39.00
104	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.75	39.25	37.25	38.50
105	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	39.00	36.50	38.25
106	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	38.50	36.50	38.00
107	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.25	36.25	37.75
108	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.00	35.75	37.25
109	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.75	34.75	36.50
110	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.25	33.25	36.50
111	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.50	34.00	36.25
112	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.50	33.00	35.75
113	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.25	32.25	34.75
114	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	35.75	31.50	33.25
115	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	34.75	31.25	34.00
116	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	33.25	30.75	33.00
117	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	34.00	30.25	32.25
118	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	33.00	30.00	31.50
119	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	32.25	29.75	31.25
120	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	31.50	28.50	30.75
121	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	31.25	27.25	30.25
122	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	30.75	26.75	30.00
123	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	30.25	25.75	29.75
124	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	30.00	25.00	28.50

125	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	29.75	25.00	27.25
126	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	28.50	25.00	26.75
127	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	27.25	25.00	25.75
128	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.75	25.00	25.00
129	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.00	25.00
130	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

ตารางที่ 7 จะแสดงผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลแตกต่างกันคือ 10 กรัม, 100 กรัม และ 500 กรัม โดยใช้เวลาเท่ากันคือ 40 นาที

ตารางที่ 7 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 40 นาที

เวลา (นาที)	**อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)**								
	ซิลิกอนคาร์ไบด์ 10 กรัม			**ซิลิกอนคาร์ไบด์ 100 กรัม**			**ซิลิกอนคาร์ไบด์ 500 กรัม**		
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**
0	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
1	116.75	97.75	94.75	416.50	356.25	406.75	285.00	274.00	349.00
2	124.75	111.25	109.00	443.50	388.25	408.25	357.25	327.00	413.75
3	118.25	109.50	107.75	409.75	372.75	380.25	366.25	334.25	419.50
4	111.25	106.00	102.75	375.00	346.25	347.75	360.75	330.75	411.25
5	104.00	101.25	98.75	342.75	320.75	318.25	350.50	323.00	397.50
6	97.25	96.75	94.75	312.00	298.25	293.25	338.50	313.75	383.00
7	91.25	91.00	90.25	285.00	278.25	270.75	325.75	303.75	368.00
8	86.50	86.25	86.50	260.00	260.25	251.25	313.25	293.50	354.00
9	81.00	81.75	82.25	239.75	244.25	233.75	300.75	284.00	340.00
10	76.75	76.50	76.25	222.00	229.75	218.25	290.75	274.50	327.00
11	73.50	72.75	71.50	207.00	217.25	206.25	279.50	265.00	314.75
12	70.75	70.00	69.25	191.75	204.75	194.25	270.00	256.50	303.25
13	67.00	67.00	66.25	180.25	194.25	184.25	260.50	248.50	292.75
14	64.00	64.50	64.00	169.25	184.25	174.75	251.25	240.50	282.25
15	61.50	61.25	61.25	159.75	174.75	166.75	242.75	233.00	272.25
16	58.75	59.25	58.75	150.00	166.75	158.25	234.50	226.00	262.25
17	56.50	55.50	55.75	141.75	158.25	151.75	227.50	219.75	254.25
18	54.50	53.50	53.25	133.75	151.75	144.75	220.00	213.25	246.75

19	52.00	51.00	51.50	125.75	144.75	138.25	213.25	206.75	238.75
20	51.00	49.25	49.00	120.75	138.25	133.25	206.75	200.50	230.25
21	48.75	47.50	47.00	112.25	133.25	125.75	200.50	195.25	223.75
22	47.00	46.25	46.25	107.00	125.75	120.75	195.25	189.25	217.25
23	45.50	44.75	45.00	101.75	120.75	112.25	189.25	183.75	210.25
24	44.00	41.75	42.25	97.25	112.25	107.00	183.75	178.75	204.25
25	43.00	39.75	40.00	93.25	107.00	101.75	178.75	173.50	199.25
26	42.00	38.50	38.75	89.00	101.75	97.25	173.50	169.25	193.75
27	40.50	37.00	37.00	85.25	97.25	93.25	169.25	164.25	189.25
28	39.75	35.50	35.75	81.75	93.25	89.00	164.25	160.00	183.75
29	38.75	35.00	35.25	78.00	89.00	85.25	160.00	155.50	178.75
30	37.50	34.25	34.50	75.50	85.25	81.75	155.50	151.25	173.50
31	36.50	33.50	33.75	73.00	81.75	78.00	151.25	147.25	169.25
32	35.75	33.00	33.25	70.25	78.00	75.50	147.25	143.50	164.25
33	35.00	32.50	32.75	67.50	75.50	73.00	143.50	139.75	160.00
34	34.75	32.50	32.50	65.00	73.00	70.25	139.75	135.50	155.50
35	33.50	32.00	32.25	64.00	70.25	67.50	135.50	132.75	151.25
36	33.00	31.50	32.00	61.50	67.50	65.00	132.75	129.50	147.25
37	33.00	31.00	31.25	59.50	65.00	64.00	129.50	126.00	143.50
38	32.25	30.25	30.50	58.50	64.00	61.50	126.00	123.25	139.75
39	32.00	30.00	30.50	56.75	61.50	59.50	123.25	120.00	135.50
40	31.50	29.50	30.50	55.75	59.50	58.50	120.00	116.75	132.75
41	31.25	29.50	29.75	54.25	58.50	56.75	116.75	114.25	129.50
42	31.00	29.25	29.75	53.00	56.75	55.75	114.25	111.50	126.00
43	29.75	29.25	29.50	51.75	55.75	54.25	111.50	108.50	123.25
44	30.00	29.00	29.25	50.25	54.25	53.00	108.50	106.00	120.00
45	29.25	29.00	29.25	49.75	53.00	51.75	106.00	102.75	116.75
46	28.50	28.75	29.25	48.75	51.75	50.25	102.75	101.00	114.25
47	28.25	28.50	28.75	48.50	50.25	49.75	101.00	98.75	111.50
48	28.25	28.25	28.75	47.50	49.75	48.75	98.75	96.75	108.50
49	28.25	28.00	28.25	47.00	48.75	48.50	96.75	94.00	106.00
50	27.75	27.75	28.25	46.00	48.50	47.50	94.00	92.25	102.75
51	27.75	27.50	27.75	45.25	47.50	47.00	92.25	90.25	101.00
52	27.25	27.25	27.75	44.50	47.00	46.00	90.25	88.25	98.75

53	27.25	26.75	27.25	43.25	46.00	45.25	88.25	86.75	96.75
54	26.75	26.25	26.75	43.25	45.25	44.50	86.75	84.50	94.00
55	26.25	26.00	26.25	42.75	44.50	43.25	84.50	83.25	92.25
56	25.75	25.75	26.00	42.00	43.25	43.25	83.25	81.25	90.25
57	25.75	25.50	26.00	41.50	43.25	42.75	81.25	80.00	88.25
58	25.25	25.50	25.50	41.00	42.75	42.00	80.00	78.50	86.75
59	25.25	25.25	25.25	40.50	42.00	41.50	78.50	76.50	84.50
60	25.00	25.00	25.00	39.75	41.50	41.00	76.50	74.75	83.25
61	25.00	25.00	25.00	39.25	41.00	40.50	74.75	73.75	81.25
62	25.00	25.00	25.00	39.00	40.50	39.75	73.75	71.50	80.00
63	25.00	25.00	25.00	38.75	39.75	39.25	71.50	70.50	78.50
64	25.00	25.00	25.00	38.00	39.25	39.00	70.50	69.75	76.50
65	25.00	25.00	25.00	37.75	39.00	38.75	69.75	68.00	74.75
66	25.00	25.00	25.00	37.50	38.75	38.00	68.00	67.00	73.75
67	25.00	25.00	25.00	36.75	38.00	37.75	67.00	66.00	71.50
68	25.00	25.00	25.00	36.75	37.75	37.50	66.00	64.75	70.50
69	25.00	25.00	25.00	35.25	37.50	36.75	64.75	63.00	69.75
70	25.00	25.00	25.00	35.00	36.75	36.75	63.00	62.75	68.00
71	25.00	25.00	25.00	34.25	36.75	35.25	62.75	61.75	67.00
72	25.00	25.00	25.00	33.75	35.25	35.00	61.75	60.50	66.00
73	25.00	25.00	25.00	33.50	35.00	34.25	60.50	59.50	64.75
74	25.00	25.00	25.00	33.25	34.25	33.75	59.50	58.50	63.00
75	25.00	25.00	25.00	32.75	33.75	33.50	58.50	57.50	62.75
76	25.00	25.00	25.00	32.25	33.50	33.25	57.50	56.50	61.75
77	25.00	25.00	25.00	32.25	33.25	32.75	56.50	55.50	60.50
78	25.00	25.00	25.00	31.75	32.75	32.25	55.50	55.00	59.50
79	25.00	25.00	25.00	31.75	32.25	32.25	55.00	54.50	58.50
80	25.00	25.00	25.00	31.25	32.25	31.75	54.50	53.25	57.50
81	25.00	25.00	25.00	31.25	31.75	31.75	53.25	52.25	56.50
82	25.00	25.00	25.00	30.75	31.75	31.25	52.25	51.50	55.50
83	25.00	25.00	25.00	30.50	31.25	31.25	51.50	50.75	55.00
84	25.00	25.00	25.00	30.25	31.25	30.75	50.75	50.00	54.50
85	25.00	25.00	25.00	30.25	30.75	30.50	50.00	49.50	53.25
86	25.00	25.00	25.00	29.75	30.50	30.25	49.50	48.75	52.25

87	25.00	25.00	25.00	29.50	30.25	30.25	48.75	47.75	51.50
88	25.00	25.00	25.00	29.25	30.25	29.75	47.75	47.00	50.75
89	25.00	25.00	25.00	28.75	29.75	29.50	47.00	46.75	50.00
90	25.00	25.00	25.00	28.50	29.50	29.25	46.75	46.25	49.50
91	25.00	25.00	25.00	28.25	29.25	28.75	46.25	45.75	48.75
92	25.00	25.00	25.00	27.75	28.75	28.50	45.75	45.50	47.75
93	25.00	25.00	25.00	27.50	28.50	28.25	45.50	44.75	47.00
94	25.00	25.00	25.00	27.50	28.25	27.75	44.75	44.00	46.75
95	25.00	25.00	25.00	27.25	27.75	27.50	44.00	43.50	46.25
96	25.00	25.00	25.00	26.75	27.50	27.50	43.50	43.25	45.75
97	25.00	25.00	25.00	26.75	27.50	27.25	43.25	43.00	45.50
98	25.00	25.00	25.00	26.50	27.25	26.75	43.00	42.50	44.75
99	25.00	25.00	25.00	26.25	26.75	26.75	42.50	41.50	44.00
100	25.00	25.00	25.00	25.75	26.75	26.50	41.50	41.25	43.50
101	25.00	25.00	25.00	25.75	26.50	26.25	41.25	40.50	43.25
102	25.00	25.00	25.00	25.50	26.25	25.75	40.50	39.75	43.00
103	25.00	25.00	25.00	25.50	25.75	25.75	39.75	39.25	42.50
104	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.50	39.25	39.25	41.50
105	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.50	39.25	38.75	41.25
106	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.00	38.75	38.00	40.50
107	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.00	38.25	39.75
108	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.25	37.00	39.25
109	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.00	37.50	39.25
110	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.50	37.25	38.75
111	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.25	36.75	38.00
112	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.75	36.50	38.25
113	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.50	36.25	37.00
114	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.25	35.75	37.50
115	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	35.75	35.25	37.25
116	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	35.25	35.00	36.75
117	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	35.00	34.75	36.50
118	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	34.75	34.50	36.25
119	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	34.50	33.75	35.75
120	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	33.75	32.25	35.25

121	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	32.25	31.50	35.00
122	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	31.50	31.25	34.75
123	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	31.25	30.75	34.50
124	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	30.75	30.25	33.75
125	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	30.25	29.75	32.25
126	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	29.75	29.00	31.50
127	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	29.00	28.50	31.25
128	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	28.50	28.25	30.75
129	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	28.25	27.25	30.25
130	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	27.25	27.00	29.75
131	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	27.00	26.50	29.00
132	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.50	26.50	28.50
133	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.50	26.25	27.75
134	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.25	26.00	27.25
135	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.00	25.75	26.00
136	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.50	25.75
137	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.50	25.50
138	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.25	25.50
139	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.25	25.00	25.25
140	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

ตารางที่ 8 จะแสดงผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลแตกต่างกันคือ 10 กรัม, 100 กรัม และ 500 กรัม โดยใช้เวลาเท่ากันคือ 50 นาที

ตารางที่ 8 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 50 นาที

เวลา (นาที)	**อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)**								
	ซิลิกอนคาร์ไบด์ 10 กรัม			**ซิลิกอนคาร์ไบด์ 100 กรัม**			**ซิลิกอนคาร์ไบด์ 500 กรัม**		
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**
0	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
1	101.25	100.75	98.00	309.75	425.75	421.25	316.00	210.75	258.25
2	113.00	109.00	111.25	339.25	432.75	442.75	399.50	389.50	314.00
3	108.50	107.25	104.00	327.25	409.75	419.25	408.00	411.25	323.25
4	101.00	104.00	97.25	308.00	380.75	387.75	399.50	408.75	321.00

5	93.75	94.00	91.25	286.75	353.75	357.75	386.25	399.00	313.50
6	85.75	90.00	86.50	265.25	329.25	330.25	371.25	386.00	304.00
7	80.25	85.00	81.00	246.50	306.25	305.75	355.75	372.00	294.00
8	74.75	81.75	76.75	229.00	286.75	285.25	341.75	358.75	284.50
9	69.50	78.25	73.50	214.00	269.25	265.75	328.25	344.25	275.25
10	65.25	72.75	70.75	200.25	252.75	249.25	314.75	332.50	265.75
11	61.75	69.50	67.00	187.50	238.75	234.25	303.00	320.75	256.75
12	59.50	65.75	64.00	176.50	226.75	220.75	291.25	308.75	248.25
13	55.50	61.50	61.50	165.50	214.75	208.75	281.25	298.25	238.25
14	54.25	58.75	58.75	156.00	204.25	198.75	271.50	288.25	227.50
15	52.00	56.75	56.50	147.00	194.25	188.25	264.50	278.50	219.75
16	50.00	53.75	54.50	138.50	185.75	178.75	254.75	269.00	212.50
17	48.75	51.00	52.00	130.50	176.75	169.75	247.50	260.25	206.50
18	47.50	49.25	50.00	124.00	169.25	160.75	238.25	252.25	200.50
19	45.75	47.50	48.75	117.25	160.75	154.75	227.50	244.25	194.25
20	45.00	46.25	48.00	110.50	154.75	148.25	219.75	237.00	188.50
21	44.00	44.75	47.50	105.50	148.25	141.75	212.50	229.50	183.25
22	43.00	41.75	45.50	100.25	141.75	136.25	206.50	223.00	177.75
23	41.25	39.75	44.50	95.75	136.25	130.50	200.50	216.25	173.50
24	41.00	38.50	44.00	91.25	130.50	124.00	194.25	210.25	169.00
25	40.25	37.00	42.25	87.25	124.00	117.25	188.50	204.00	164.50
26	39.50	35.50	41.50	83.25	117.25	110.50	183.25	198.50	161.00
27	39.00	35.00	41.00	79.50	110.50	105.50	177.75	193.25	156.75
28	38.25	34.25	40.25	76.25	105.50	100.25	173.50	188.00	152.50
29	38.00	33.50	39.00	73.25	100.25	95.75	169.00	183.25	148.75
30	37.50	33.00	38.25	70.50	95.75	91.25	164.50	178.50	145.50
31	37.00	32.50	37.50	68.00	91.25	87.25	160.00	174.00	142.25
32	36.25	32.50	36.50	65.00	87.25	83.25	155.50	169.50	138.25
33	34.75	32.00	35.75	62.75	83.25	79.50	151.25	165.00	134.75
34	34.00	31.50	35.00	60.75	79.50	76.25	148.00	161.00	132.50
35	33.50	31.00	34.75	59.00	76.25	73.25	143.75	156.75	128.75
36	32.00	30.25	33.50	57.00	73.25	70.50	140.25	152.50	125.50
37	31.25	30.25	33.00	55.25	70.50	68.00	136.75	148.75	122.75
38	30.75	30.00	33.00	53.25	68.00	65.00	133.75	145.50	119.75

39	30.25	29.50	32.25	52.00	65.00	62.75	130.50	142.25	117.25
40	30.00	29.50	32.00	50.75	62.75	60.75	127.00	138.25	114.75
41	29.25	29.25	31.50	49.50	60.75	59.00	123.75	134.75	112.25
42	28.50	29.25	31.25	47.75	59.00	57.00	121.00	132.50	109.50
43	28.25	29.00	31.00	46.75	57.00	55.25	118.25	128.75	107.50
44	28.25	29.00	29.75	45.25	55.25	53.25	115.50	125.50	105.25
45	28.25	28.75	30.00	44.75	53.25	52.00	112.50	122.75	103.00
46	27.75	28.50	29.25	43.50	52.00	50.75	110.00	119.75	101.25
47	27.75	28.50	28.50	42.50	50.75	49.50	107.50	117.25	99.00
48	27.25	28.25	28.25	41.75	49.50	47.75	105.25	114.75	96.75
49	27.25	28.00	28.25	40.50	47.75	46.75	103.00	112.25	94.25
50	26.75	27.75	28.25	39.75	46.75	45.25	101.25	109.50	92.75
51	26.25	27.75	27.75	39.25	45.25	44.75	99.00	107.25	91.00
52	25.75	27.50	27.75	38.50	44.75	43.50	96.75	104.75	89.00
53	25.75	27.25	27.25	37.75	43.50	42.50	94.25	102.25	86.50
54	25.25	26.75	27.25	37.50	42.50	41.75	92.75	100.25	85.25
55	25.25	26.25	26.75	37.00	41.75	40.50	91.00	98.25	83.50
56	25.00	25.50	26.25	36.25	40.50	39.75	89.00	96.75	81.75
57	25.00	25.25	25.75	35.25	39.75	39.25	86.50	94.25	80.25
58	25.00	25.25	25.75	35.50	39.25	38.50	85.25	92.75	79.25
59	25.00	25.00	25.25	34.25	38.50	37.75	83.50	91.00	77.75
60	25.00	25.00	25.00	33.75	37.75	37.50	81.75	89.00	76.25
61	25.00	25.00	25.00	33.75	37.50	37.00	80.25	86.50	74.75
62	25.00	25.00	25.00	33.75	37.00	36.25	79.25	85.25	73.50
63	25.00	25.00	25.00	32.75	36.25	35.25	77.75	83.50	72.00
64	25.00	25.00	25.00	32.25	35.25	35.50	76.25	81.75	70.75
65	25.00	25.00	25.00	31.75	35.50	34.25	74.75	80.25	69.25
66	25.00	25.00	25.00	30.75	34.25	33.75	73.50	79.25	68.00
67	25.00	25.00	25.00	30.75	33.75	33.75	72.00	77.75	67.00
68	25.00	25.00	25.00	30.75	33.75	33.75	70.75	76.25	65.75
69	25.00	25.00	25.00	30.50	33.75	32.75	69.25	74.75	64.50
70	25.00	25.00	25.00	30.50	32.75	32.25	68.00	73.50	63.75
71	25.00	25.00	25.00	30.25	32.25	31.75	67.00	72.00	62.00
72	25.00	25.00	25.00	30.25	31.75	30.75	65.75	70.75	61.50

73	25.00	25.00	25.00	29.75	30.75	30.75	64.50	69.25	61.00
74	25.00	25.00	25.00	29.50	30.75	30.75	63.75	68.00	59.25
75	25.00	25.00	25.00	29.25	30.75	30.50	62.00	67.00	59.00
76	25.00	25.00	25.00	29.00	30.50	30.50	61.50	65.75	58.25
77	25.00	25.00	25.00	28.75	30.50	30.25	61.00	64.50	56.75
78	25.00	25.00	25.00	28.50	30.25	30.25	59.25	63.75	56.50
79	25.00	25.00	25.00	28.25	30.25	29.75	59.00	62.00	55.50
80	25.00	25.00	25.00	27.75	29.75	29.50	58.25	61.50	54.50
81	25.00	25.00	25.00	27.50	29.50	29.25	56.75	61.00	54.00
82	25.00	25.00	25.00	27.50	29.25	29.00	56.50	59.25	53.25
83	25.00	25.00	25.00	27.25	29.00	28.75	55.50	59.00	52.25
84	25.00	25.00	25.00	26.75	28.75	28.50	54.50	58.25	52.00
85	25.00	25.00	25.00	26.75	28.50	28.25	54.00	56.75	50.75
86	25.00	25.00	25.00	26.50	28.25	27.75	53.25	56.50	50.50
87	25.00	25.00	25.00	26.25	27.75	27.50	52.25	55.50	49.50
88	25.00	25.00	25.00	25.75	27.50	27.50	52.00	54.50	49.00
89	25.00	25.00	25.00	25.75	27.50	27.25	50.75	54.00	48.50
90	25.00	25.00	25.00	25.50	27.25	26.75	50.50	53.25	47.75
91	25.00	25.00	25.00	25.50	26.75	26.75	49.50	52.25	47.25
92	25.00	25.00	25.00	25.00	26.75	26.50	49.00	52.00	46.75
93	25.00	25.00	25.00	25.00	26.50	26.25	48.50	50.75	46.25
94	25.00	25.00	25.00	25.00	26.25	25.75	47.75	50.50	45.75
95	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.75	47.25	49.50	44.75
96	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.50	46.75	49.00	44.75
97	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.50	46.25	48.50	44.25
98	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.00	45.75	47.75	43.25
99	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	44.75	47.25	43.25
100	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	44.75	46.75	42.50
101	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	44.25	46.25	42.25
102	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	43.25	45.75	41.75
103	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	43.25	44.75	41.25
104	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	42.50	44.75	41.00
105	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	42.25	43.25	40.25
106	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	41.75	43.25	40.25

107	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	41.25	42.50	39.75
108	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	41.00	42.25	39.25
109	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	40.25	41.75	39.25
110	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	40.25	41.25	38.75
111	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	39.75	41.00	38.00
112	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	39.25	40.25	38.25
113	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	39.25	40.25	37.00
114	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.75	39.75	37.50
115	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.00	39.25	37.25
116	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.25	39.25	36.75
117	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.00	38.75	36.50
118	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.50	38.00	36.25
119	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.25	38.25	35.75
120	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.75	37.00	35.25
121	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.50	37.50	35.00
122	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.25	37.25	34.75
123	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	35.75	36.75	34.50
124	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	35.25	36.50	33.75
125	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	35.00	36.25	32.25
126	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	34.75	35.75	31.50
127	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	34.50	35.25	31.25
128	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	33.75	35.00	30.75
129	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	32.25	34.75	30.25
130	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	31.50	34.50	29.75
131	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	31.25	33.75	29.00
132	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	30.75	32.25	28.50
133	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	30.25	31.50	28.25
134	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	29.75	31.25	27.25
135	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	29.00	30.75	27.00
136	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	28.50	30.25	26.50
137	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	28.25	29.75	26.50
138	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	27.25	29.00	26.25
139	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	27.00	28.50	26.00
140	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.50	28.25	25.75

141	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.50	27.25	25.50
142	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.25	27.00	25.50
143	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.00	26.50	25.25
144	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	26.50	25.25
145	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	26.25	25.00
146	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	26.00	25.00
147	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.25	25.25	25.00
148	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.25	25.25	25.00
149	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
150	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

ตารางที่ 9 จะแสดงผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลแตกต่างกันคือ 10 กรัม, 100 กรัม และ 500 กรัม โดยใช้เวลาเท่ากันคือ 60 นาที

ตารางที่ 9 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 60 นาที

เวลา (นาที)	**อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)**								
	ซิลิกอนคาร์ไบด์ 10 กรัม			**ซิลิกอนคาร์ไบด์ 100 กรัม**			**ซิลิกอนคาร์ไบด์ 500 กรัม**		
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**
0	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
1	117.75	88.50	115.25	346.50	506.75	373.25	251.25	338.75	272.25
2	121.75	101.75	114.50	365.00	524.75	450.25	363.50	388.50	369.50
3	109.25	102.25	106.00	347.75	476.75	435.25	377.75	394.00	385.00
4	98.75	97.75	96.00	323.25	433.75	405.75	375.25	387.00	382.75
5	89.75	91.50	87.25	299.75	383.75	375.75	366.25	376.25	374.25
6	82.25	82.75	82.50	277.50	340.25	348.25	356.00	364.00	362.25
7	75.00	79.75	81.00	257.25	309.75	322.25	344.50	352.00	350.00
8	70.00	75.25	76.75	238.50	285.75	300.75	333.00	339.75	338.50
9	64.25	72.50	72.75	223.00	264.75	281.75	321.75	327.75	327.25
10	60.00	68.50	69.50	208.00	247.75	263.25	310.00	316.25	315.5
11	56.00	64.75	65.75	194.50	232.25	248.25	300.00	306.00	305
12	53.00	63.50	61.50	182.50	219.25	234.25	289.75	295.50	294.75
13	50.00	61.75	58.75	171.50	207.75	221.25	280.50	285.25	284.75
14	47.75	59.25	56.75	161.75	196.75	209.75	271.50	276.25	275.25

15	45.75	57.00	53.75	152.50	187.25	198.75	262.75	267.50	266.25
16	43.75	54.75	50.75	144.00	177.25	189.25	255.00	259.00	257.5
17	42.00	52.50	49.00	136.00	169.25	181.25	246.75	251.00	249.75
18	41.00	50.25	47.50	128.00	161.25	172.75	239.75	243.50	242.25
19	39.25	48.50	46.25	121.50	152.50	165.25	232.25	236.50	234.75
20	38.00	46.75	44.75	115.50	144.00	157.75	226.25	229.50	228.25
21	37.00	45.00	42.75	109.75	136.00	150.25	221.25	223.00	221.25
22	35.50	42.25	40.75	104.25	128.00	144.00	216.25	216.25	215.25
23	35.50	40.50	40.25	99.25	121.50	136.00	210.50	210.00	208.75
24	34.00	38.50	39.25	95.00	115.50	128.00	204.75	204.25	203.25
25	33.25	37.25	37.50	90.75	109.75	121.50	199.00	198.75	198.00
26	33.00	36.00	37.00	87.25	104.25	115.50	194.25	192.75	192.25
27	32.50	35.75	36.00	83.50	99.25	109.75	189.25	188.50	187.75
28	31.75	35.00	35.00	79.75	95.00	104.25	184.50	183.75	182.25
29	32.00	34.75	34.50	76.50	90.75	99.25	180.00	178.75	177.75
30	31.50	33.50	34.25	73.75	87.25	95.00	175.50	174.50	172.75
31	30.75	33.00	33.00	70.50	83.50	90.75	170.75	170.00	168.75
32	30.25	32.25	32.75	67.75	79.75	87.25	166.25	165.50	164.25
33	30.00	32.00	32.72	64.75	76.50	83.50	163.00	161.75	160.25
34	29.25	31.50	32.00	62.25	73.75	79.75	158.75	157.50	158.75
35	28.50	31.25	31.75	60.50	70.50	76.50	154.75	153.00	154.75
36	28.25	31.00	31.25	58.25	67.75	73.75	150.75	149.50	150.75
37	28.25	29.75	30.75	56.00	64.75	70.50	147.50	146.00	147.50
38	28.25	30.00	30.25	55.00	62.25	67.75	144.00	142.75	144.00
39	27.75	29.25	3000	53.50	60.50	64.75	140.75	139.50	140.75
40	27.75	28.50	29.75	52.00	58.25	62.25	137.50	135.75	137.50
41	27.25	28.25	29.25	50.50	56.00	60.50	134.25	132.00	134.25
42	27.25	28.25	29.25	49.00	55.00	58.25	131.50	129.75	131.50
43	26.75	28.25	29.00	48.50	53.50	56.00	127.75	126.25	127.75
44	26.25	27.75	29.00	47.00	52.00	55.00	125.00	123.75	125.00
45	25.75	27.75	28.75	46.25	50.50	53.50	122.75	120.75	122.75
46	25.75	27.50	28.75	44.50	49.00	52.00	119.75	119.75	119.75
47	25.25	27.00	28.50	44.00	48.50	50.50	117.25	117.25	117.25
48	25.25	26.75	28.50	43.25	47.00	49.00	115.00	115.00	115.00

49	25.00	26.50	28.25	42.25	46.25	48.50	111.75	111.75	111.75
50	25.00	26.25	28.00	41.25	44.50	47.00	109.75	109.75	109.75
51	25.00	26.00	27.75	40.50	44.00	46.25	107.00	107.00	107.00
52	25.00	25.75	27.75	39.75	43.25	44.50	105.25	105.25	105.25
53	25.00	25.50	27.25	38.50	42.25	44.00	103.00	103.00	103.00
54	25.00	25.25	27.25	38.25	41.25	43.25	101.00	101.00	101.00
55	25.00	25.00	26.50	37.50	40.50	42.25	98.75	98.75	98.75
56	25.00	25.00	26.00	36.75	39.75	41.25	97.00	97.00	97.00
57	25.00	25.00	25.75	36.00	38.50	40.50	94.75	94.75	94.75
58	25.00	25.00	25.50	35.75	38.25	39.75	93.25	93.25	93.25
59	25.00	25.00	25.25	35.25	37.50	38.50	91.25	91.25	91.25
60	25.00	25.00	25.00	35.00	36.75	38.25	89.00	89.00	89.00
61	25.00	25.00	25.00	34.25	36.00	37.50	87.75	87.75	87.75
62	25.00	25.00	25.00	33.75	35.75	36.75	86.25	86.25	86.25
63	25.00	25.00	25.00	33.50	35.25	36.00	84.75	84.75	84.75
64	25.00	25.00	25.00	33.25	35.00	35.75	83.25	83.25	83.25
65	25.00	25.00	25.00	32.75	34.25	35.25	81.75	81.75	81.75
66	25.00	25.00	25.00	32.25	33.75	35.00	80.25	80.25	80.25
67	25.00	25.00	25.00	32.25	33.50	34.25	78.25	78.25	78.25
68	25.00	25.00	25.00	31.75	33.25	33.75	77.75	77.75	77.75
69	25.00	25.00	25.00	31.75	32.75	33.50	76.00	76.00	76.00
70	25.00	25.00	25.00	31.25	32.25	33.25	74.75	74.75	74.75
71	25.00	25.00	25.00	31.25	32.25	32.75	73.75	73.75	73.75
72	25.00	25.00	25.00	30.75	31.75	32.25	72.00	72.00	72.00
73	25.00	25.00	25.00	30.50	31.75	32.25	70.75	70.75	70.75
74	25.00	25.00	25.00	30.25	31.25	31.75	69.50	69.50	69.50
75	25.00	25.00	25.00	30.25	31.25	31.75	68.50	68.50	68.50
76	25.00	25.00	25.00	29.75	30.75	31.25	67.50	67.50	67.50
77	25.00	25.00	25.00	29.50	30.50	31.25	67.00	67.00	67.00
78	25.00	25.00	25.00	29.25	30.25	30.75	65.75	65.75	65.75
79	25.00	25.00	25.00	28.75	30.25	30.50	64.50	64.50	64.50
80	25.00	25.00	25.00	28.50	29.75	30.25	63.75	63.75	63.75
81	25.00	25.00	25.00	28.25	29.50	30.25	62.00	62.00	62.00
82	25.00	25.00	25.00	27.75	29.25	29.75	61.50	61.50	61.50

83	25.00	25.00	25.00	27.50	28.75	29.50	61.00	61.00	61.00
84	25.00	25.00	25.00	27.50	28.50	29.25	59.25	59.25	59.25
85	25.00	25.00	25.00	27.25	28.25	28.75	59.00	59.00	59.00
86	25.00	25.00	25.00	26.75	27.75	28.50	58.25	58.25	58.25
87	25.00	25.00	25.00	26.75	27.50	28.25	56.75	56.75	56.75
88	25.00	25.00	25.00	26.50	27.50	27.75	56.50	56.50	56.50
89	25.00	25.00	25.00	26.25	27.25	27.50	55.50	55.50	55.50
90	25.00	25.00	25.00	25.75	26.75	27.50	54.50	54.50	54.50
91	25.00	25.00	25.00	25.75	26.75	27.25	54.00	54.00	54.00
92	25.00	25.00	25.00	25.50	26.50	26.75	53.25	53.25	53.25
93	25.00	25.00	25.00	25.50	26.25	26.75	52.25	52.25	52.25
94	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	26.50	52.00	52.00	52.00
95	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	26.25	50.75	50.75	50.75
96	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.75	50.50	50.50	50.50
97	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.75	49.50	49.50	49.50
98	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	49.00	49.00	49.00
99	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	48.50	48.50	48.50
100	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	47.75	47.75	47.75
101	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	47.25	47.25	47.25
102	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	46.75	46.75	46.75
103	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	46.25	46.25	46.25
104	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	45.75	45.75	45.75
105	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	44.75	44.75	44.75
106	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	44.75	44.75	44.75
107	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	44.25	44.25	44.25
108	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	43.25	43.25	43.25
109	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	43.25	43.25	43.25
110	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	42.50	42.50	42.50
111	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	42.25	42.25	42.25
112	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	41.75	41.75	41.75
113	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	41.25	41.25	41.25
114	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	41.00	41.00	41.00
115	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	40.25	40.25	40.25
116	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	40.25	40.25	40.25

117	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	39.75	39.75	39.75
118	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	39.25	39.25	39.25
119	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	39.25	39.25	39.25
120	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.75	38.75	38.75
121	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.00	38.00	38.00
122	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	38.25	38.25	38.25
123	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.00	37.00	37.00
124	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.50	37.50	37.50
125	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	37.25	37.25	37.25
126	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.75	36.75	36.75
127	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.50	36.50	36.50
128	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	36.25	36.25	36.25
129	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	35.75	35.75	35.75
130	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	35.25	35.25	35.25
131	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	35.00	35.00	35.00
132	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	34.75	34.75	34.75
133	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	34.50	34.50	34.50
134	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	33.75	33.75	33.75
135	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	32.25	32.25	32.25
136	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	31.50	31.50	31.50
137	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	31.25	31.25	31.25
138	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	30.75	30.75	30.75
139	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	30.25	30.25	30.25
140	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	29.75	29.75	29.75
141	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	29.00	29.00	29.00
142	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	28.50	28.50	28.50
143	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	28.25	28.25	28.25
144	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	27.25	27.25	27.25
145	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	27.00	27.00	27.00
146	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.75	26.75	26.75
147	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.25	26.25	26.25
148	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.25	25.75
149	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.25	25.00	25.25
150	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

4.6.2 ผลการทดลองการนำซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลเท่ากัน อบในเตาไมโครเวฟในเวลาที่แตกต่างกัน

จากการออกแบบการทดลอง ตารางที่ 10-12 จะได้ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 10 จะแสดงผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลเท่ากันคือ 10 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 10, 100 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 11 และ 500 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 12 โดยใช้เวลาที่แตกต่างกันคือ 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 40 นาที, 50 นาที และ 60 นาที ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 10 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม

เวลา (นาที)	อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 10 กรัม อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)																	
	10 นาที			20 นาที			30 นาที			40 นาที			50 นาที			60 นาที		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
1	54.75	61.25	63.50	81.25	81.75	76.50	80.50	75.50	76.25	116.75	97.75	94.75	101.25	100.75	98.00	117.75	88.50	115.25
2	64.25	64.50	67.25	83.00	84.25	78.75	90.75	86.25	88.75	124.75	111.25	109.00	113.00	109.00	111.25	121.75	101.75	114.50
3	63.25	61.75	65.75	78.75	78.50	75.25	89.25	83.75	84.50	118.25	109.50	107.75	108.50	107.25	104.00	109.25	102.25	106.00
4	60.25	59.25	64.00	74.00	74.50	71.50	85.25	79.75	80.75	111.25	106.00	102.75	101.00	104.00	97.25	98.75	97.75	96.00
5	57.75	56.50	61.75	70.00	70.50	64.75	81.00	73.50	76.00	104.00	101.25	98.75	93.75	94.00	91.25	89.75	91.50	87.25
6	55.00	53.75	59.75	66.50	65.75	63.50	76.75	70.00	72.00	97.25	96.75	94.75	91.25	90.00	86.50	82.25	82.75	82.50
7	52.00	51.00	57.00	62.00	62.75	61.75	72.75	68.50	69.00	91.25	91.00	90.25	85.75	85.00	81.00	80.75	79.75	81.00
8	50.00	49.25	54.50	60.25	60.00	59.25	69.50	63.75	65.00	86.50	86.25	86.50	80.25	81.75	76.75	77.50	75.25	76.75
9	48.00	47.75	51.75	58.00	57.75	57.00	65.75	60.25	62.75	81.00	81.75	82.25	74.75	78.25	73.50	75.00	72.50	72.75
10	46.25	46.00	50.00	55.75	55.50	54.75	61.50	58.75	60.00	76.75	76.50	76.25	69.50	72.75	70.75	70.00	68.50	69.50
11	44.75	44.75	48.50	53.25	53.50	52.50	58.75	57.25	57.00	73.50	72.75	71.50	65.25	69.50	67.00	64.25	64.75	65.75
12	43.00	42.75	47.00	51.50	51.00	50.25	56.75	55.25	56.50	70.75	70.00	69.25	61.75	65.75	64.00	60.00	63.50	61.50
13	41.	42.	45.	49.	49.	48.	53.	53.	55.	67.0	67.0	66.2	59.5	61.5	61.5	56.0	61.7	58.7

	75	00	75	00	25	50	75	50	00	0	0	5	0	0	0	0	5	5
14	41.00	41.00	44.25	47.00	47.50	46.75	50.75	52.75	53.50	64.00	64.50	64.00	55.50	58.75	58.75	53.00	59.25	56.75
15	40.00	39.75	43.25	46.25	46.25	45.00	49.00	51.00	51.75	61.50	61.25	61.25	54.25	56.75	56.50	50.00	57.00	53.75
16	39.00	39.00	41.75	45.00	44.75	42.25	47.50	49.50	50.00	58.75	59.25	58.75	52.00	53.75	54.50	47.75	54.75	50.75
17	38.50	38.50	40.50	42.25	41.75	40.50	46.25	48.00	48.75	56.50	55.50	55.75	50.00	51.00	52.00	45.75	52.50	49.00
18	37.75	37.50	39.75	40.00	39.75	38.50	44.75	46.75	48.00	54.50	53.50	53.25	48.75	49.25	50.00	43.75	50.25	47.50
19	37.25	37.00	38.50	38.75	38.50	37.25	42.75	45.50	47.50	52.00	51.00	51.50	47.50	47.50	48.75	42.00	48.50	46.25
20	35.75	36.25	38.00	37.00	37.00	36.00	40.75	44.00	45.50	51.00	49.25	49.00	45.75	46.25	48.00	41.00	46.75	44.75
21	35.50	36.00	37.00	35.75	35.50	35.00	40.25	43.25	44.50	48.75	47.50	47.00	45.00	44.75	47.50	39.25	45.00	42.75
22	35.00	35.25	36.25	35.25	35.00	34.50	39.25	42.50	44.00	47.00	46.25	46.25	44.00	41.75	45.50	38.00	42.25	40.75
23	34.75	35.00	35.75	34.50	34.25	34.25	37.50	42.00	42.25	45.50	44.75	45.00	43.00	39.75	44.50	37.00	40.50	40.25
24	34.50	34.50	35.50	33.75	33.50	33.00	37.00	40.50	41.50	44.00	41.75	42.25	41.25	38.50	44.00	35.50	38.50	39.25
25	33.50	33.75	34.75	33.25	33.00	32.75	36.25	40.00	41.00	43.00	39.75	40.00	41.00	37.00	42.25	35.50	37.25	37.50
26	33.00	33.25	34.25	32.75	32.50	32.72	35.00	38.75	40.25	42.00	38.50	38.75	40.25	35.50	41.50	34.00	36.00	37.00
27	32.75	32.75	34.00	32.50	32.50	32.00	33.75	38.00	39.00	40.50	37.00	37.00	39.50	35.00	41.00	33.25	35.75	36.00
28	32.50	32.50	33.50	32.25	32.00	31.75	33.00	37.25	38.25	39.75	35.50	35.75	39.00	34.25	40.25	33.00	35.00	35.00
29	32.25	32.00	33.00	32.00	31.50	31.25	32.25	36.50	37.50	38.75	35.00	35.25	38.25	33.50	39.00	32.50	34.75	34.50
30	32.00	31.75	32.50	31.25	31.00	30.75	31.25	35.25	37.00	37.50	34.25	34.50	38.00	33.00	38.25	31.75	33.50	34.25
31	31.25	31.25	31.75	30.50	30.25	30.25	31.75	35.00	36.50	36.50	33.50	33.75	37.50	32.50	37.50	32.00	33.00	33.00
32	30.50	31.00	31.50	30.50	30.25	30 00	31.00	34.50	35.50	35.75	33.00	33.25	37.00	32.50	36.50	31.50	32.25	32.75
33	30.50	30.75	31.00	30.50	30.00	29.75	30.75	33.75	35.25	35.00	32.50	32.75	36.25	32.00	35.75	30.75	32.00	32.72
34	30.50	31.00	31.00	29.75	29.50	29.25	30.75	33.50	35.00	34.75	32.50	32.50	34.75	31.50	35.00	30.25	31.50	32.00
35	29.75	30.50	30.75	29.75	29.50	29.25	30.00	33.00	34.25	33.50	32.00	32.25	34.00	31.00	34.75	30.00	31.25	31.75
36	29.75	30.50	30.5	29.50	29.25	29.00	29.50	32.00	34.00	33.00	31.50	32.00	33.50	30.25	33.50	29.25	31.00	31.25
37	29.	30.	30.	29.	29.	29.	29.	31.	33.	33.0	31.0	31.2	32.0	30.2	33.0	28.5	29.7	30.7

	50	25	25	25	25	00	25	75	50	0	0	5	0	5	0	0	5	5
38	29.25	30.00	30.25	29.25	29.00	28.75	29.25	31.50	33.00	32.25	30.25	30.50	31.25	30.00	33.00	28.25	30.00	30.25
39	29.25	29.75	30.00	29.25	29.00	28.75	29.00	31.00	32.50	32.00	30.00	30.50	30.75	29.50	32.25	28.25	29.25	3000
40	29.25	29.50	29.75	28.75	28.75	28.50	28.50	30.25	32.00	31.50	29.50	30.50	30.25	29.50	32.00	28.25	28.50	29.75
41	28.75	29.25	29.50	28.75	28.50	28.50	28.75	30.00	31.75	31.25	29.50	29.75	30.00	29.25	31.50	27.75	28.25	29.25
42	28.75	29.00	29.25	28.25	28.50	28.25	28.25	29.75	31.25	31.00	29.25	29.75	29.25	29.25	31.25	27.75	28.25	29.25
43	28.25	28.75	29.00	28.25	28.25	28.00	28.25	29.50	31.00	29.75	29.25	29.50	28.50	29.00	31.00	27.25	28.25	29.00
44	28.25	28.50	28.75	27.75	28.00	27.75	28.25	29.00	30.75	30.00	29.00	29.25	28.25	29.00	29.75	27.25	27.75	29.00
45	27.75	28.25	28.50	27.75	27.75	27.75	27.75	28.75	30.75	29.25	29.00	29.25	28.25	28.75	30.00	26.75	27.75	28.75
46	27.75	28.00	28.25	27.25	27.75	27.25	27.75	28.50	30.50	28.50	28.75	29.25	28.25	28.50	29.25	26.25	27.50	28.75
47	27.25	27.75	28.25	27.25	27.50	27.25	27.25	28.25	30.00	28.25	28.50	28.75	27.75	28.50	28.50	25.75	27.00	28.50
48	27.25	27.75	28.00	26.75	27.25	26.50	27.25	28.50	29.75	28.25	28.25	28.75	27.75	28.25	28.25	25.75	26.75	28.50
49	26.75	27.50	28.00	26.25	26.75	26.50	26.75	27.75	29.50	28.25	28.00	28.25	27.25	28.00	28.25	25.25	26.50	28.25
50	26.25	27.25	27.75	25.75	26.25	26.00	26.25	27.50	29.25	27.75	27.75	28.25	26.75	27.75	28.25	25.25	26.25	28.00
51	25.75	27.25	27.25	25.75	26.25	26.00	25.75	27.00	28.75	27.75	27.50	27.75	26.25	27.75	27.75	25.00	26.00	27.75
52	25.75	26.75	27.25	25.25	26.00	25.75	25.75	26.75	28.25	27.25	27.25	27.75	25.75	27.50	27.75	25.00	25.75	27.75
53	25.25	26.75	27.00	25.25	25.75	25.75	25.25	26.50	27.75	27.25	26.75	27.25	25.25	27.25	27.25	25.00	25.50	27.25
54	25.25	26.25	26.75	25.00	25.50	25.50	25.25	26.25	27.25	26.75	26.25	26.75	25.25	26.75	27.25	25.00	25.25	27.25
55	25.00	26.00	26.25	25.00	25.50	25.50	25.00	26.00	26.75	26.25	26.00	26.25	25.00	26.25	26.75	25.00	25.00	26.50
56	25.00	26.00	26.00	25.00	25.25	25.00	25.00	25.75	26.50	25.75	25.75	26.00	25.00	25.50	26.25	25.00	25.00	26.00
57	25.00	25.75	26.00	25.00	25.25	25.00	25.00	25.50	26.00	25.75	25.50	26.00	25.00	25.25	25.75	25.00	25.00	25.75
58	25.00	25.25	25.50	25.00	25.00	25.00	25.00	25.25	25.50	25.25	25.50	25.50	25.00	25.25	25.75	25.00	25.00	25.50
59	25.00	25.00	25.25	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.25	25.25	25.25	25.25	25.00	25.00	25.25	25.00	25.00	25.25
60	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

ตารางที่ 11 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม

เวลา (นาที)	อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 100 กรัม อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)																	
	10 นาที			20 นาที			30 นาที			40 นาที			50 นาที			60 นาที		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
1	315.25	214.75	393.75	350.25	341.25	296.75	425.00	356.75	434.25	416.50	356.25	406.75	309.75	425.75	421.25	346.50	506.75	373.25
2	348.75	242.25	399.25	365.25	385.25	399.50	451.00	400.75	449.25	443.50	388.25	408.25	339.25	432.75	442.75	365.00	524.75	450.25
3	330.50	237.75	363.75	339.50	368.75	390.25	414.25	386.25	419.75	409.75	372.75	380.25	327.25	409.75	419.25	347.75	476.75	435.25
4	302.00	226.75	328.75	312.75	343.25	361.75	377.50	358.25	386.75	375.00	346.25	347.75	308.00	380.75	387.75	323.25	433.75	405.75
5	275.25	213.25	294.75	286.25	316.75	332.75	344.00	330.25	355.75	342.75	320.75	318.25	286.75	353.75	357.75	299.75	383.75	375.75
6	250.00	200.75	266.25	262.50	293.25	305.25	313.00	303.25	328.75	312.00	298.25	293.25	265.25	329.25	330.25	277.50	340.25	348.25
7	226.75	187.75	243.25	242.50	273.25	281.25	287.50	281.75	303.25	285.00	278.25	270.75	246.50	306.25	305.75	257.25	309.75	322.25
8	207.50	177.75	221.75	224.25	254.75	259.75	265.50	262.25	282.75	260.00	260.25	251.25	229.00	286.75	285.25	238.50	285.75	300.75
9	189.00	168.75	204.75	208.00	238.25	241.75	245.50	243.75	264.25	239.75	244.25	233.75	214.00	269.25	265.75	223.00	264.75	281.75
10	175.00	159.75	189.25	194.25	223.25	226.25	227.75	228.25	247.75	222.00	229.75	218.25	200.25	252.75	249.25	208.00	247.75	263.25
11	161.75	150.75	177.25	181.00	210.75	211.25	212.00	214.75	231.75	207.00	217.25	206.25	187.50	238.75	234.25	194.50	232.25	248.25
12	151.25	143.25	165.75	170.00	198.75	198.75	198.50	201.25	219.75	191.75	204.75	194.25	176.50	226.75	220.75	182.50	219.25	234.25
13	140.75	135.75	154.75	159.50	188.25	188.25	185.75	191.25	206.75	180.25	194.25	184.25	165.50	214.75	208.75	171.50	207.75	221.25
14	130.50	129.75	145.75	149.50	178.75	178.75	174.50	181.25	197.25	169.25	184.25	174.75	156.00	204.25	198.75	161.75	196.75	209.75
15	121.75	123.75	137.25	141.25	169.75	169.75	164.00	171.25	187.25	159.75	174.75	166.75	147.00	194.25	188.25	152.50	187.25	198.75
16	113.25	117.75	129.25	132.75	161.75	161.75	154.50	162.75	177.75	150.00	166.75	158.25	138.50	185.75	178.75	144.00	177.25	189.25
17	107.00	112.25	122.25	125.00	154.25	154.25	145.75	155.25	168.75	141.75	158.25	151.75	130.50	176.75	169.75	136.00	169.25	181.25
18	99.75	107.75	115.75	118.50	147.25	147.25	138.00	146.75	161.25	133.75	151.75	144.75	124.00	169.25	160.75	128.00	161.25	172.75
19	94.00	103.75	110.25	111.50	140.25	140.25	130.25	140.25	153.75	125.75	144.75	138.25	117.25	160.75	154.75	121.50	152.50	165.25
20	88.75	99.75	104.75	106.25	133.75	133.75	123.50	133.75	146.75	120.75	138.25	133.25	110.50	154.75	148.25	115.50	144.00	157.75

21	84.50	95.75	100.25	101.25	128.25	128.25	116.75	127.75	140.25	112.25	133.25	125.75	105.50	148.25	141.75	109.75	136.00	150.25
22	80.00	92.25	96.25	95.75	123.25	123.25	111.00	122.25	133.75	107.00	125.75	120.75	100.25	141.75	136.25	104.25	128.00	144.00
23	76.00	88.25	91.25	91.25	118.25	118.25	105.25	116.75	127.75	101.75	120.75	112.25	95.75	136.25	130.50	99.25	121.50	136.00
24	72.50	85.25	87.75	87.50	112.75	112.75	100.75	111.00	122.25	97.25	112.25	107.00	91.25	130.50	124.00	95.00	115.50	128.00
25	68.75	82.25	84.75	84.25	108.75	108.75	96.50	105.25	116.75	93.25	107.00	101.75	87.25	124.00	117.25	90.75	109.75	121.50
26	65.50	79.75	81.25	80.50	104.75	104.75	92.00	100.75	111.00	89.00	101.75	97.25	83.25	117.25	110.50	87.25	104.25	115.50
27	62.75	76.75	77.75	77.50	100.25	100.25	87.75	96.50	105.25	85.25	97.25	93.25	79.50	110.50	105.50	83.50	99.25	109.75
28	59.75	74.25	75.25	75.00	96.75	96.75	84.25	92.00	100.75	81.75	93.25	89.00	76.25	105.50	100.25	79.75	95.00	104.25
29	57.50	72.25	72.25	72.25	93.75	93.75	80.25	87.75	96.50	78.00	89.00	85.25	73.25	100.25	95.75	76.50	90.75	99.25
30	55.25	68.75	68.75	69.75	90.25	90.25	77.50	84.25	92.00	75.50	85.25	81.75	70.50	95.75	91.25	73.75	87.25	95.00
31	53.50	65.50	65.50	66.75	86.75	86.75	74.50	80.25	87.75	73.00	81.75	78.00	68.00	91.25	87.25	70.50	83.50	90.75
32	51.50	62.75	62.75	64.75	83.75	83.75	71.25	77.50	84.25	70.25	78.00	75.50	65.00	87.25	83.25	67.75	79.75	87.25
33	49.50	59.75	59.75	62.75	81.25	81.25	69.50	74.50	80.25	67.50	75.50	73.00	62.75	83.25	79.50	64.75	76.50	83.50
34	46.50	57.50	57.50	60.75	78.25	78.25	67.00	71.25	77.50	65.00	73.00	70.25	60.75	79.50	76.25	62.25	73.75	79.75
35	45.25	55.25	55.25	59.50	75.75	75.75	65.25	69.50	74.50	64.00	70.25	67.50	59.00	76.25	73.25	60.50	70.50	76.50
36	45.00	53.50	53.50	57.50	73.75	73.75	62.75	67.00	71.25	61.50	67.50	65.00	57.00	73.25	70.50	58.25	67.75	73.75
37	43.25	51.50	51.50	56.00	71.25	71.25	61.25	65.25	69.50	59.50	65.00	64.00	55.25	70.50	68.00	56.00	64.75	70.50
38	42.00	49.50	49.50	55.25	68.75	68.75	59.25	62.75	67.00	58.50	64.00	61.50	53.25	68.00	65.00	55.00	62.25	67.75
39	40.00	46.50	46.50	53.75	67.25	67.25	58.00	61.25	65.25	56.75	61.50	59.50	52.00	65.00	62.75	53.50	60.50	64.75
40	39.75	45.25	45.25	52.75	65.25	65.25	56.25	59.25	62.75	55.75	59.50	58.50	50.75	62.75	60.75	52.00	58.25	62.25
41	38.50	45.00	45.00	51.50	64.75	64.75	54.75	58.00	61.25	54.25	58.50	56.75	49.50	60.75	59.00	50.50	56.00	60.50
42	36.00	43.25	43.25	50.25	62.75	62.75	53.25	56.25	59.25	53.00	56.75	55.75	47.75	59.00	57.00	49.00	55.00	58.25
43	33.75	42.00	42.00	49.50	60.75	60.75	51.25	54.75	58.00	51.75	55.75	54.25	46.75	57.00	55.25	48.50	53.50	56.00
44	33.00	40.00	40.00	48.00	59.50	59.50	50.75	53.25	56.25	50.25	54.25	53.00	45.25	55.25	53.25	47.00	52.00	55.00

45	32.25	39.75	39.75	48.00	57.50	57.50	49.50	51.25	54.75	49.75	53.00	51.75	44.75	53.25	52.00	46.25	50.50	53.50
46	31.75	38.50	38.50	46.75	56.00	56.00	48.75	50.75	53.25	48.75	51.75	50.25	43.50	52.00	50.75	44.50	49.00	52.00
47	30.75	36.00	36.00	46.25	55.25	55.25	48.00	49.50	51.25	48.50	50.25	49.75	42.50	50.75	49.50	44.00	48.50	50.50
48	30.00	33.75	33.75	45.50	53.75	53.75	47.00	48.75	50.75	47.50	49.75	48.75	41.75	49.50	47.75	43.25	47.00	49.00
49	30.00	33.00	33.00	45.00	52.75	52.75	46.25	48.00	49.50	47.00	48.75	48.50	40.50	47.75	46.75	42.25	46.25	48.50
50	29.75	32.25	32.25	44.25	51.50	51.50	45.25	47.00	48.75	46.00	48.50	47.50	39.75	46.75	45.25	41.25	44.50	47.00
51	29.75	31.75	31.75	43.50	50.25	50.25	44.50	46.25	48.00	45.25	47.50	47.00	39.25	45.25	44.75	40.50	44.00	46.25
52	29.50	30.75	30.75	42.75	49.50	49.50	43.25	45.25	47.00	44.50	47.00	46.00	38.50	44.75	43.50	39.75	43.25	44.50
53	29.25	30.00	30.00	42.75	48.00	48.00	43.25	44.50	46.25	43.25	46.00	45.25	37.75	43.50	42.50	38.50	42.25	44.00
54	29.25	30.00	30.00	42.00	48.00	48.00	42.75	43.25	45.25	43.25	45.25	44.50	37.50	42.50	41.75	38.25	41.25	43.25
55	29.25	29.75	29.75	41.75	46.75	46.75	42.00	43.25	44.50	42.75	44.50	43.25	37.00	41.75	40.50	37.50	40.50	42.25
56	28.75	29.75	29.75	41.50	46.25	46.25	41.50	42.75	43.25	42.00	43.25	43.25	36.25	40.50	39.75	36.75	39.75	41.25
57	28.75	29.50	29.50	40.75	45.50	45.50	41.00	42.00	43.25	41.50	43.25	42.75	35.25	39.75	39.25	36.00	38.50	40.50
58	28.25	29.25	29.25	40.50	45.00	45.00	40.50	41.50	42.75	41.00	42.75	42.00	35.50	39.25	38.50	35.75	38.25	39.75
59	28.25	29.25	29.25	40.25	44.25	44.25	39.75	41.00	42.00	40.50	42.00	41.50	34.25	38.50	37.75	35.25	37.50	38.50
60	27.75	29.25	29.25	39.75	43.50	43.50	39.25	40.50	41.50	39.75	41.50	41.00	33.75	37.75	37.50	35.00	36.75	38.25
61	27.75	28.75	28.75	39.25	42.75	42.75	39.00	39.75	41.00	39.25	41.00	40.50	33.75	37.50	37.00	34.25	36.00	37.50
62	27.25	28.75	28.75	39.25	42.75	42.75	38.75	39.25	40.50	39.00	40.50	39.75	33.75	37.00	36.25	33.75	35.75	36.75
63	26.75	28.25	28.25	38.75	42.00	42.00	38.00	39.00	39.75	38.75	39.75	39.25	32.75	36.25	35.25	33.50	35.25	36.00
64	26.25	28.25	28.25	38.50	41.75	41.75	37.75	38.75	39.25	38.00	39.25	39.00	32.25	35.25	35.50	33.25	35.00	35.75
65	25.75	27.75	27.75	38.25	41.50	41.50	37.50	38.00	39.00	37.75	39.00	38.75	31.75	35.50	34.25	32.75	34.25	35.25
66	25.50	27.75	27.75	37.75	40.75	40.75	36.75	37.75	38.75	37.50	38.75	38.00	30.75	34.25	33.75	32.25	33.75	35.00
67	25.25	27.25	27.25	36.75	40.50	40.50	36.75	37.50	38.00	36.75	38.00	37.75	30.75	33.75	33.75	32.25	33.50	34.25
68	25.00	26.75	26.75	36.75	40.25	40.25	35.25	36.75	37.75	36.75	37.75	37.50	30.75	33.75	33.75	31.75	33.25	33.75

69	25.00	26.25	26.25	36.50	39.75	39.75	35.00	36.75	37.50	35.25	37.50	36.75	30.50	33.75	32.75	31.75	32.75	33.50
70	25.00	25.75	25.75	36.25	39.25	39.25	34.25	35.25	36.75	35.00	36.75	36.75	30.50	32.75	32.25	31.25	32.25	33.25
71	25.00	25.50	25.50	36.00	39.25	39.25	33.75	35.00	36.75	34.25	36.75	35.25	30.25	32.25	31.75	31.25	32.25	32.75
72	25.00	25.25	25.25	35.75	38.75	38.75	33.50	34.25	35.25	33.75	35.25	35.00	30.25	31.75	30.75	30.75	31.75	32.25
73	25.00	25.00	25.00	35.75	38.50	38.50	33.25	33.75	35.00	33.50	35.00	34.25	29.75	30.75	30.75	30.50	31.75	32.25
74	25.00	25.00	25.00	35.75	38.25	38.25	32.75	33.50	34.25	33.25	34.25	33.75	29.50	30.75	30.75	30.25	31.25	31.75
75	25.00	25.00	25.00	35.50	37.75	37.75	32.25	33.25	33.75	32.75	33.75	33.50	29.25	30.75	30.50	30.25	31.25	31.75
76	25.00	25.00	25.00	35.25	36.75	36.75	32.25	32.75	33.50	32.25	33.50	33.25	29.00	30.50	30.50	29.75	30.75	31.25
77	25.00	25.00	25.00	35.25	36.75	36.75	31.75	32.25	33.25	32.25	33.25	32.75	28.75	30.50	30.25	29.50	30.50	31.25
78	25.00	25.00	25.00	34.75	36.50	36.50	31.75	32.25	32.75	31.75	32.75	32.25	28.50	30.25	30.25	29.25	30.25	30.75
79	25.00	25.00	25.00	34.50	36.25	36.25	31.25	31.75	32.25	31.75	32.25	32.25	28.25	30.25	29.75	28.75	30.25	30.50
80	25.00	25.00	25.00	34.25	36.00	36.00	31.25	31.75	32.25	31.25	32.25	31.75	27.75	29.75	29.50	28.50	29.75	30.25
81	25.00	25.00	25.00	33.75	35.75	35.75	30.75	31.25	31.75	31.25	31.75	31.75	27.50	29.50	29.25	28.25	29.50	30.25
82	25.00	25.00	25.00	33.50	35.75	35.75	30.50	31.25	31.75	30.75	31.75	31.25	27.50	29.25	29.00	27.75	29.25	29.75
83	25.00	25.00	25.00	33.25	35.75	35.75	30.25	30.75	31.25	30.50	31.25	31.25	27.25	29.00	28.75	27.50	28.75	29.50
84	25.00	25.00	25.00	32.75	35.50	35.50	30.25	30.50	31.25	30.25	31.25	30.75	26.75	28.75	28.50	27.50	28.50	29.25
85	25.00	25.00	25.00	32.25	35.25	35.25	29.75	30.25	30.75	30.25	30.75	30.50	26.75	28.50	28.25	27.25	28.25	28.75
86	25.00	25.00	25.00	32.25	35.25	35.25	29.50	30.25	30.50	29.75	30.50	30.25	26.50	28.25	27.75	26.75	27.75	28.50
87	25.00	25.00	25.00	31.75	34.75	34.75	29.25	29.75	30.25	29.50	30.25	30.25	26.25	27.75	27.50	26.75	27.50	28.25
88	25.00	25.00	25.00	31.75	34.50	34.50	28.75	29.50	30.25	29.25	30.25	29.75	25.75	27.50	27.50	26.50	27.50	27.75
89	25.00	25.00	25.00	31.25	34.25	34.25	28.50	29.25	29.75	28.75	29.75	29.50	25.75	27.50	27.25	26.25	27.25	27.50
90	25.00	25.00	25.00	31.25	33.75	33.75	28.25	28.75	29.50	28.50	29.50	29.25	25.50	27.25	26.75	25.75	26.75	27.50
91	25.00	25.00	25.00	30.75	33.50	33.50	27.75	28.50	29.25	28.25	29.25	28.75	25.50	26.75	26.75	25.75	26.75	27.25
92	25.00	25.00	25.00	30.50	33.25	33.25	27.50	28.25	28.75	27.75	28.75	28.50	25.00	26.75	26.50	25.50	26.50	26.75

93	25.00	25.00	25.00	30.25	32.75	32.75	27.50	27.75	28.50	27.50	28.50	28.25	25.00	26.50	26.25	25.50	26.25	26.75
94	25.00	25.00	25.00	30.25	32.25	32.25	27.25	27.50	28.25	27.50	28.25	27.75	25.00	26.25	25.75	25.00	25.75	26.50
95	25.00	25.00	25.00	29.75	32.25	32.25	26.75	27.50	27.75	27.25	27.75	27.50	25.00	25.75	25.75	25.00	25.75	26.25
96	25.00	25.00	25.00	29.50	31.75	31.75	26.75	27.25	27.50	26.75	27.50	27.50	25.00	25.75	25.50	25.00	25.50	25.75
97	25.00	25.00	25.00	29.25	31.75	31.75	26.50	26.75	27.50	26.75	27.50	27.25	25.00	25.50	25.50	25.00	25.50	25.75
98	25.00	25.00	25.00	28.75	31.25	31.25	26.25	26.75	27.25	26.50	27.25	26.75	25.00	25.50	25.00	25.00	25.00	25.50
99	25.00	25.00	25.00	28.50	31.25	31.25	25.75	26.50	26.75	26.25	26.75	26.75	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50
100	25.00	25.00	25.00	28.25	30.75	30.75	25.75	26.25	26.75	25.75	26.75	26.50	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
101	25.00	25.00	25.00	27.75	30.50	30.50	25.50	25.75	26.50	25.75	26.50	26.25	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
102	25.00	25.00	25.00	27.50	30.25	30.25	25.50	25.75	26.25	25.50	26.25	25.75	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
103	25.00	25.00	25.00	27.50	30.25	30.25	25.00	25.50	25.75	25.50	25.75	25.75	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
104	25.00	25.00	25.00	27.25	29.75	29.75	25.00	25.50	25.75	25.00	25.75	25.50	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
105	25.00	25.00	25.00	26.75	29.50	29.50	25.00	25.00	25.50	25.00	25.50	25.50	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
106	25.00	25.00	25.00	26.75	29.25	29.25	25.00	25.00	25.50	25.00	25.50	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
107	25.00	25.00	25.00	26.50	28.75	28.75	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
108	25.00	25.00	25.00	26.25	28.50	28.50	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
109	25.00	25.00	25.00	25.75	28.25	28.25	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
110	25.00	25.00	25.00	25.75	27.75	27.75	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
111	25.00	25.00	25.00	25.50	27.50	27.50	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
112	25.00	25.00	25.00	25.50	27.50	27.50	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
113	25.00	25.00	25.00	25.00	27.25	27.25	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
114	25.00	25.00	25.00	25.00	26.75	26.75	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
115	25.00	25.00	25.00	25.00	26.75	26.75	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
116	25.00	25.00	25.00	25.00	26.50	26.50	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

117	25.00	25.00	25.00	25.00	26.25	26.25	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
118	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.75	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
119	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.75	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
120	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

ตารางที่ 12 ผลการทดลองใช้เตาไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ อบซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม

เวลา (นาที)	อบซิลิกอนคาร์ไบด์ 500 กรัม อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)																	
	10 นาที			20 นาที			30 นาที			40 นาที			50 นาที			60 นาที		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
1	232.00	209.25	223.25	220.50	306.25	321.25	131.50	303.50	342.00	285.00	274.00	349.00	316.00	210.75	258.25	251.25	338.75	272.25
2	271.75	220.75	234.25	258.75	346.25	342.75	397.75	334.75	377.25	357.25	327.00	413.75	399.50	389.50	314.00	363.50	388.50	369.50
3	277.25	218.25	231.75	263.75	345.75	340.75	424.25	330.75	377.75	366.25	334.25	419.50	408.00	411.25	323.25	377.75	394.00	385.00
4	273.00	211.75	224.75	260.00	337.25	331.25	422.50	319.25	369.25	360.75	330.75	411.25	399.50	408.75	321.00	375.25	387.00	382.75
5	265.50	203.00	217.75	251.75	326.75	319.25	411.00	309.25	357.25	350.50	323.00	397.50	386.25	399.00	313.50	366.25	376.25	374.25
6	255.75	194.75	211.75	242.75	315.25	307.25	396.75	297.75	343.25	338.50	313.75	383.00	371.25	386.00	304.00	356.00	364.00	362.25
7	247.00	187.75	203.00	234.00	303.75	294.75	382.00	286.75	330.25	325.75	303.75	368.00	355.75	372.00	294.00	344.50	352.00	350.00
8	237.00	181.25	194.75	225.50	293.75	283.75	366.50	276.25	319.25	313.25	293.50	354.00	341.75	358.75	284.50	333.00	339.75	338.50
9	228.00	174.75	187.75	216.50	282.75	272.75	351.50	266.75	309.25	300.75	284.00	340.00	328.25	344.25	275.25	321.75	327.75	327.25
10	219.00	168.75	181.25	208.50	273.75	262.25	338.25	257.75	297.75	290.75	274.50	327.00	314.75	332.50	265.75	310.00	316.25	315.5
11	211.00	162.75	174.75	201.50	264.25	251.25	324.25	249.25	286.75	279.50	265.00	314.75	303.00	320.75	256.75	300.00	306.00	305.00
12	203.00	156.75	168.75	194.25	255.75	242.75	312.25	241.75	276.25	270.00	256.50	303.25	291.25	308.75	248.25	289.75	295.50	294.75
13	194.75	151.75	162.75	187.25	242.75	234.00	300.25	233.75	266.75	260.50	248.50	292.75	281.25	298.25	238.25	280.50	285.25	284.75
14	187.75	146.75	156.75	181.25	234.00	225.50	289.00	226.75	257.75	251.25	240.50	282.25	271.50	288.25	227.50	271.50	276.25	275.25
15	181	142	151	175	225	216	278	219	249	242	233	272	264	278	219	262	267	266

	.25	.00	.75	.00	.50	.50	.25	.75	.25	.75	.00	.25	.50	.50	.75	.75	.50	.25
16	174 .75	137 .50	146 .75	169 .25	216 .50	208 .50	268 .50	213 .25	241 .75	234 .50	226 .00	262 .25	254 .75	269 .00	212 .50	255 .00	259 .00	257 .5
17	168 .75	133 .25	142 .00	164 .25	208 .50	201 .50	258 .50	207 .25	233 .75	227 .50	219 .75	254 .25	247 .50	260 .25	206 .50	246 .75	251 .00	249 .75
18	162 .75	128 .75	137 .50	159 .75	201 .50	194 .25	249 .50	204 .25	226 .75	220 .00	213 .25	246 .75	238 .25	252 .25	200 .50	239 .75	243 .50	242 .25
19	156 .75	124 .75	133 .25	154 .50	194 .25	187 .25	240 .75	197 .50	219 .75	213 .25	206 .75	238 .75	227 .50	244 .25	194 .25	232 .25	236 .50	234 .75
20	151 .75	120 .75	128 .75	149 .75	187 .25	181 .25	233 .00	191 .25	213 .25	206 .75	200 .50	230 .25	219 .75	237 .00	188 .50	226 .25	229 .50	228 .25
21	146 .75	117 .25	124 .75	145 .00	181 .25	175 .00	225 .25	184 .75	207 .25	200 .50	195 .25	223 .75	212 .50	229 .50	183 .25	221 .25	223 .00	221 .25
22	142 .00	114 .25	120 .75	141 .00	175 .00	169 .25	217 .75	179 .50	204 .25	195 .25	189 .25	217 .25	206 .50	223 .00	177 .75	216 .25	216 .25	215 .25
23	137 .50	111 .00	117 .25	137 .25	169 .25	164 .25	210 .75	173 .50	197 .50	189 .25	183 .75	210 .25	200 .50	216 .25	173 .50	210 .50	210 .00	208 .75
24	133 .25	107 .25	114 .25	133 .50	164 .25	159 .75	204 .25	168 .25	191 .25	183 .75	178 .75	204 .25	194 .25	210 .25	169 .00	204 .75	204 .25	203 .25
25	128 .75	104 .50	111 .00	129 .50	159 .75	154 .50	197 .50	163 .50	184 .75	178 .75	173 .50	199 .25	188 .50	204 .00	164 .50	199 .00	198 .75	198 .00
26	124 .75	101 .50	107 .25	125 .25	154 .50	149 .75	191 .25	158 .75	179 .50	173 .50	169 .25	193 .75	183 .25	198 .50	161 .00	194 .25	192 .75	192 .25
27	120 .75	98. 50	104 .50	122 .25	149 .75	145 .00	184 .75	154 .50	173 .50	169 .25	164 .25	189 .25	177 .75	193 .25	156 .75	189 .25	188 .50	187 .75
28	117 .25	96. 25	101 .50	119 .25	145 .00	141 .00	179 .50	148 .75	168 .25	164 .25	160 .00	183 .75	173 .50	188 .00	152 .50	184 .50	183 .75	182 .25
29	114 .25	93. 75	98. 50	116 .50	141 .00	137 .25	173 .50	145 .50	163 .50	160 .00	155 .50	178 .75	169 .00	183 .25	148 .75	180 .00	178 .75	177 .75
30	111 .00	90. 75	96. 25	113 .25	137 .25	133 .50	168 .25	140 .25	158 .75	155 .50	151 .25	173 .50	164 .50	178 .50	145 .50	175 .50	174 .50	172 .75
31	107 .25	88. 50	93. 75	110 .25	133 .50	129 .50	163 .50	137 .00	154 .50	151 .25	147 .25	169 .25	160 .00	174 .00	142 .25	170 .75	170 .00	168 .75
32	104 .50	86. 25	90. 75	107 .00	129 .50	125 .25	158 .75	133 .00	148 .75	147 .25	143 .50	164 .25	155 .50	169 .50	138 .25	166 .25	165 .50	164 .25
33	101 .50	84. 25	88. 50	104 .75	125 .25	122 .25	154 .50	129 .00	145 .50	143 .50	139 .75	160 .00	151 .25	165 .00	134 .75	163 .00	161 .75	160 .25
34	98. 50	82. 50	86. 25	101 .75	122 .25	119 .25	148 .75	125 .75	140 .25	139 .75	135 .50	155 .50	148 .00	161 .00	132 .50	158 .75	157 .50	158 .75
35	96. 25	80. 50	84. 25	99. 75	119 .25	116 .50	145 .50	122 .50	137 .00	135 .50	132 .75	151 .25	143 .75	156 .75	128 .75	154 .75	153 .00	154 .75
36	93. 75	78. 50	82. 50	97. 75	116 .50	113 .25	140 .25	119 .00	133 .00	132 .75	129 .50	147 .25	140 .25	152 .50	125 .50	150 .75	149 .50	150 .75
37	90. 75	77. 00	80. 50	94. 75	113 .25	110 .25	137 .00	116 .25	129 .00	129 .50	126 .00	143 .50	136 .75	148 .75	122 .75	147 .50	146 .00	147 .50
38	88. 50	75. 00	78. 50	92. 75	110 .25	107 .00	133 .00	113 .00	125 .75	126 .00	123 .25	139 .75	133 .75	145 .50	119 .75	144 .00	142 .75	144 .00
39	86.	72.	77.	89.	107	104	129	110	122	123	120	135	130	142	117	140	139	140

	25	75	00	75	.00	.75	.00	.00	.50	.25	.00	.50	.50	.25	.25	.75	.50	.75
40	84.25	71.50	75.00	88.75	104.75	101.75	125.75	106.50	119.00	120.00	116.75	132.75	127.00	138.25	114.75	137.50	135.75	137.50
41	82.50	70.00	72.75	86.75	101.75	99.75	122.50	104.00	116.25	116.75	114.25	129.50	123.75	134.75	112.25	134.25	132.00	134.25
42	80.50	69.00	71.50	84.00	99.75	97.75	119.00	101.50	113.00	114.25	111.50	126.00	121.00	132.50	109.50	131.50	129.75	131.50
43	78.50	67.50	70.00	83.00	97.75	94.75	116.25	99.00	110.00	111.50	108.50	123.25	118.25	128.75	107.50	127.75	126.25	127.75
44	77.00	66.00	69.00	80.75	94.75	92.75	113.00	96.00	106.50	108.50	106.00	120.00	115.50	125.50	105.25	125.00	123.75	125.00
45	75.00	64.75	67.50	79.50	92.75	89.75	110.00	94.00	104.00	106.00	102.75	116.75	112.50	122.75	103.00	122.75	120.75	122.75
46	72.75	63.75	66.00	78.25	89.75	88.75	106.50	91.75	101.50	102.75	101.00	114.25	110.00	119.75	101.25	119.75	119.75	119.75
47	71.50	62.50	64.75	76.75	88.75	86.75	104.00	89.25	99.00	101.00	98.75	111.50	107.50	117.25	99.00	117.25	117.25	117.25
48	70.00	60.75	63.75	74.50	86.75	84.00	101.50	87.25	96.00	98.75	96.75	108.50	105.25	114.75	96.75	115.00	115.00	115.00
49	69.00	59.75	62.50	73.75	84.00	83.00	99.00	84.75	94.00	96.75	94.00	106.00	103.00	112.25	94.25	111.75	111.75	111.75
50	67.50	58.75	60.75	72.50	83.00	80.75	96.00	82.75	91.75	94.00	92.25	102.75	101.25	109.50	92.75	109.75	109.75	109.75
51	66.00	57.50	59.75	71.00	80.75	79.50	94.00	81.50	89.25	92.25	90.25	101.00	99.00	107.25	91.00	107.00	107.00	107.00
52	64.75	57.00	58.75	69.25	79.50	78.25	91.75	79.50	87.25	90.25	88.25	98.75	96.75	104.75	89.00	105.25	105.25	105.25
53	63.75	55.75	57.50	68.25	78.25	76.75	89.25	77.50	84.75	88.25	86.75	96.75	94.25	102.25	86.50	103.00	103.00	103.00
54	62.50	54.75	57.00	67.00	76.75	74.50	87.25	76.00	82.75	86.75	84.50	94.00	92.75	100.25	85.25	101.00	101.00	101.00
55	60.75	54.25	55.75	65.75	74.50	73.75	84.75	74.50	81.50	84.50	83.25	92.25	91.00	98.25	83.50	98.75	98.75	98.75
56	59.75	53.00	54.75	64.25	73.75	72.50	82.75	72.75	79.50	83.25	81.25	90.25	89.00	96.75	81.75	97.00	97.00	97.00
57	58.75	52.00	54.25	63.00	72.50	71.00	81.50	70.75	77.50	81.25	80.00	88.25	86.50	94.25	80.25	94.75	94.75	94.75
58	57.50	51.50	53.00	62.00	71.00	69.25	79.50	69.25	76.00	80.00	78.50	86.75	85.25	92.75	79.25	93.25	93.25	93.25
59	57.00	50.75	52.00	61.00	69.25	68.25	77.50	68.00	74.50	78.50	76.50	84.50	83.50	91.00	77.75	91.25	91.25	91.25
60	55.75	49.75	51.50	59.75	68.25	67.00	76.00	66.75	72.75	76.50	74.75	83.25	81.75	89.00	76.25	89.00	89.00	89.00
61	54.75	49.00	50.75	59.25	67.00	65.75	74.50	65.00	70.75	74.75	73.75	81.25	80.25	86.50	74.75	87.75	87.75	87.75
62	54.25	48.50	49.75	58.50	65.75	64.25	72.75	64.00	69.25	73.75	71.50	80.00	79.25	85.25	73.50	86.25	86.25	86.25
63	53.	48.	49.	57.	64.	63.	70.	63.	68.	71.	70.	78.	77.	83.	72.	84.	84.	84.

	00	00	00	50	25	00	75	25	00	50	50	50	75	50	00	75	75	75
64	52.00	47.25	48.50	56.50	63.00	62.00	69.25	61.50	66.75	70.50	69.75	76.50	76.25	81.75	70.75	83.25	83.25	83.25
65	51.50	46.75	48.00	55.75	62.00	61.00	68.00	60.75	65.00	69.75	68.00	74.75	74.75	80.25	69.25	81.75	81.75	81.75
66	50.75	46.25	47.25	54.25	61.00	59.75	66.75	59.00	64.00	68.00	67.00	73.75	73.50	79.25	68.00	80.25	80.25	80.25
67	49.75	45.50	46.75	53.50	59.75	59.25	65.00	58.50	63.25	67.00	66.00	71.50	72.00	77.75	67.00	78.25	78.25	78.25
68	49.00	45.00	46.25	53.00	59.25	58.50	64.00	57.50	61.50	66.00	64.75	70.50	70.75	76.25	65.75	77.75	77.75	77.75
69	48.50	44.50	45.50	52.25	58.50	57.50	63.25	56.75	60.75	64.75	63.00	69.75	69.25	74.75	64.50	76.00	76.00	76.00
70	48.00	44.00	45.00	51.75	57.50	56.50	61.50	55.00	59.00	63.00	62.75	68.00	68.00	73.50	63.75	74.75	74.75	74.75
71	47.25	43.50	44.50	50.50	56.50	55.75	60.75	54.25	58.50	62.75	61.75	67.00	67.00	72.00	62.00	73.75	73.75	73.75
72	46.75	43.00	44.00	50.25	55.75	54.25	59.00	53.50	57.50	61.75	60.50	66.00	65.75	70.75	61.50	72.00	72.00	72.00
73	46.25	42.75	43.50	49.50	54.25	53.50	58.50	53.00	56.75	60.50	59.50	64.75	64.50	69.25	61.00	70.75	70.75	70.75
74	45.50	42.50	43.00	48.50	53.50	53.00	57.50	51.75	55.00	59.50	58.50	63.00	63.75	68.00	59.25	69.50	69.50	69.50
75	45.00	41.25	42.75	48.00	53.00	52.25	56.75	51.50	54.25	58.50	57.50	62.75	62.00	67.00	59.00	68.50	68.50	68.50
76	44.50	41.25	42.50	46.75	52.25	51.75	55.00	50.50	53.50	57.50	56.50	61.75	61.50	65.75	58.25	67.50	67.50	67.50
77	44.00	41.00	41.25	46.75	51.75	50.50	54.25	50.00	53.00	56.50	55.50	60.50	61.00	64.50	56.75	67.00	67.00	67.00
78	43.50	40.75	41.25	45.50	50.50	50.25	53.50	49.25	51.75	55.50	55.00	59.50	59.25	63.75	56.50	65.75	65.75	65.75
79	43.00	40.25	41.00	45.50	50.25	49.50	53.00	48.25	51.50	55.00	54.50	58.50	59.00	62.00	55.50	64.50	64.50	64.50
80	42.75	40.25	40.75	45.00	49.50	48.50	51.75	47.25	50.50	54.50	53.25	57.50	58.25	61.50	54.50	63.75	63.75	63.75
81	42.50	39.25	40.25	44.50	48.50	48.00	51.50	47.00	50.00	53.25	52.25	56.50	56.75	61.00	54.00	62.00	62.00	62.00
82	41.25	39.00	40.25	43.50	48.00	46.75	50.50	46.25	49.25	52.25	51.50	55.50	56.50	59.25	53.25	61.50	61.50	61.50
83	41.25	38.75	39.25	43.25	46.75	46.75	50.00	46.00	48.25	51.50	50.75	55.00	55.50	59.00	52.25	61.00	61.00	61.00
84	41.00	38.75	39.00	43.00	46.75	45.50	49.25	45.25	47.25	50.75	50.00	54.50	54.50	58.25	52.00	59.25	59.25	59.25
85	40.75	38.50	38.75	41.75	45.50	45.50	48.25	45.00	47.00	50.00	49.50	53.25	54.00	56.75	50.75	59.00	59.00	59.00
86	40.25	38.00	38.75	41.75	45.50	45.00	47.25	44.25	46.25	49.50	48.75	52.25	53.25	56.50	50.50	58.25	58.25	58.25
87	40.	37.	38.	41.	45.	44.	47.	44.	46.	48.	47.	51.	52.	55.	49.	56.	56.	56.

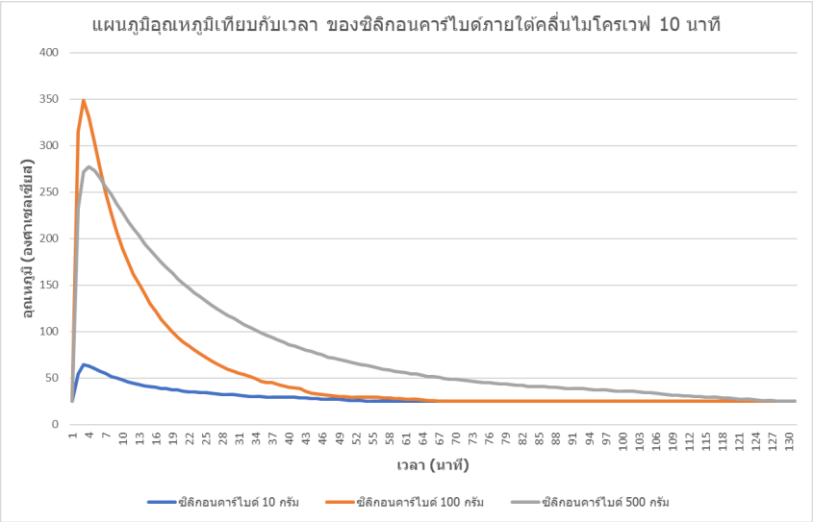
	25	50	50	25	00	50	00	00	00	75	75	50	25	50	50	75	75	75
88	39.25	37.50	38.00	41.00	44.50	43.50	46.25	43.50	45.25	47.75	47.00	50.75	52.00	54.50	49.00	56.50	56.50	56.50
89	39.00	37.25	37.50	40.50	43.50	43.25	46.00	42.75	45.00	47.00	46.75	50.00	50.75	54.00	48.50	55.50	55.50	55.50
90	38.75	36.50	37.50	39.75	43.25	43.00	45.25	42.25	44.25	46.75	46.25	49.50	50.50	53.25	47.75	54.50	54.50	54.50
91	38.75	36.25	37.25	39.75	43.00	41.75	45.00	41.75	44.00	46.25	45.75	48.75	49.50	52.25	47.25	54.00	54.00	54.00
92	38.50	36.25	36.50	39.25	41.75	41.75	44.25	41.25	43.50	45.75	45.50	47.75	49.00	52.00	46.75	53.25	53.25	53.25
93	38.00	36.00	36.25	39.00	41.75	41.25	44.00	41.25	42.75	45.50	44.75	47.00	48.50	50.75	46.25	52.25	52.25	52.25
94	37.50	35.75	36.25	38.50	41.25	41.00	43.50	40.75	42.25	44.75	44.00	46.75	47.75	50.50	45.75	52.00	52.00	52.00
95	37.50	35.50	36.00	38.50	41.00	40.50	42.75	40.00	41.75	44.00	43.50	46.25	47.25	49.50	44.75	50.75	50.75	50.75
96	37.25	34.75	35.75	37.50	40.50	39.75	42.25	40.00	41.25	43.50	43.25	45.75	46.75	49.00	44.75	50.50	50.50	50.50
97	36.50	34.25	35.50	37.25	39.75	39.75	41.75	39.50	41.25	43.25	43.00	45.50	46.25	48.50	44.25	49.50	49.50	49.50
98	36.25	33.75	34.75	37.25	39.75	39.25	41.25	39.25	40.75	43.00	42.50	44.75	45.75	47.75	43.25	49.00	49.00	49.00
99	36.25	33.25	34.25	36.50	39.25	39.00	41.25	39.00	40.00	42.50	41.50	44.00	44.75	47.25	43.25	48.50	48.50	48.50
100	36.00	32.75	33.75	36.75	39.00	38.50	40.75	38.50	40.00	41.50	41.25	43.50	44.75	46.75	42.50	47.75	47.75	47.75
101	35.75	32.00	33.25	36.00	38.50	38.50	40.00	38.25	39.50	41.25	40.50	43.25	44.25	46.25	42.25	47.25	47.25	47.25
102	35.50	31.75	32.75	35.75	38.50	37.50	40.00	38.00	39.25	40.50	39.75	43.00	43.25	45.75	41.75	46.75	46.75	46.75
103	34.75	31.25	32.00	35.50	37.50	37.25	39.50	37.75	39.00	39.75	39.25	42.50	43.25	44.75	41.25	46.25	46.25	46.25
104	34.25	30.75	31.75	35.25	37.25	37.25	39.25	37.25	38.50	39.25	39.25	41.50	42.50	44.75	41.00	45.75	45.75	45.75
105	33.75	30.25	31.25	34.50	37.25	36.50	39.00	36.50	38.25	39.25	38.75	41.25	42.25	43.25	40.25	44.75	44.75	44.75
106	33.25	30.00	30.75	34.75	36.50	36.75	38.50	36.50	38.00	38.75	38.00	40.50	41.75	43.25	40.25	44.75	44.75	44.75
107	32.75	29.75	30.25	34.75	36.75	36.00	38.25	36.25	37.75	38.00	38.25	39.75	41.25	42.50	39.75	44.25	44.25	44.25
108	32.00	29.50	30.00	34.50	36.00	35.75	38.00	35.75	37.25	38.25	37.00	39.25	41.00	42.25	39.25	43.25	43.25	43.25
109	31.75	29.25	29.75	33.75	35.75	35.50	37.75	34.75	36.50	37.00	37.50	39.25	40.25	41.75	39.25	43.25	43.25	43.25
110	31.25	28.75	29.50	32.25	35.50	35.25	37.25	33.25	36.50	37.50	37.25	38.75	40.25	41.25	38.75	42.50	42.50	42.50
11	30.	28.	29.	31.	35.	34.	36.	34.	36.	37.	36.	38.	39.	41.	38.	42.	42.	42.

1	75	75	25	50	25	50	50	00	25	25	75	00	75	00	00	25	25	25
112	30.25	28.00	28.75	31.25	34.50	34.75	36.50	33.00	35.75	36.75	36.50	38.25	39.25	40.25	38.25	41.75	41.75	41.75
113	30.00	27.75	28.75	30.75	34.75	34.75	36.25	32.25	34.75	36.50	36.25	37.00	39.25	40.25	37.00	41.25	41.25	41.25
114	29.75	27.50	28.00	30.25	34.75	34.50	35.75	31.50	33.25	36.25	35.75	37.50	38.75	39.75	37.50	41.00	41.00	41.00
115	29.50	27.50	27.75	29.75	34.50	33.75	34.75	31.25	34.00	35.75	35.25	37.25	38.00	39.25	37.25	40.25	40.25	40.25
116	29.25	26.75	27.50	29.00	33.75	32.25	33.25	30.75	33.00	35.25	35.00	36.75	38.25	39.25	36.75	40.25	40.25	40.25
117	28.75	26.25	27.50	28.50	32.25	31.50	34.00	30.25	32.25	35.00	34.75	36.50	37.00	38.75	36.50	39.75	39.75	39.75
118	28.75	25.75	26.75	28.25	31.50	31.25	33.00	30.00	31.50	34.75	34.50	36.25	37.50	38.00	36.25	39.25	39.25	39.25
119	28.00	25.75	26.25	27.25	31.25	30.75	32.25	29.75	31.25	34.50	33.75	35.75	37.25	38.25	35.75	39.25	39.25	39.25
120	27.75	25.50	25.75	27.00	30.75	30.25	31.50	28.50	30.75	33.75	32.25	35.25	36.75	37.00	35.25	38.75	38.75	38.75
121	27.50	25.25	25.75	26.50	30.25	29.75	31.25	27.25	30.25	32.25	31.50	35.00	36.50	37.50	35.00	38.00	38.00	38.00
122	27.50	25.00	25.50	26.50	29.75	29.00	30.75	26.75	30.00	31.50	31.25	34.75	36.25	37.25	34.75	38.25	38.25	38.25
123	26.75	25.00	25.25	26.25	29.00	28.50	30.25	25.75	29.75	31.25	30.75	34.50	35.75	36.75	34.50	37.00	37.00	37.00
124	26.25	25.00	25.00	26.00	28.50	28.25	30.00	25.00	28.50	30.75	30.25	33.75	35.25	36.50	33.75	37.50	37.50	37.50
125	25.75	25.00	25.00	25.75	28.25	27.25	29.75	25.00	27.25	30.25	29.75	32.25	35.00	36.25	32.25	37.25	37.25	37.25
126	25.75	25.00	25.00	25.50	27.25	27.00	28.50	25.00	26.75	29.75	29.00	31.50	34.75	35.75	31.50	36.75	36.75	36.75
127	25.50	25.00	25.00	25.50	27.00	26.25	27.25	25.00	25.75	29.00	28.50	31.25	34.50	35.25	31.25	36.50	36.50	36.50
128	25.25	25.00	25.00	25.25	26.25	25.50	26.75	25.00	25.00	28.50	28.25	30.75	33.75	35.00	30.75	36.25	36.25	36.25
129	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.25	25.75	25.00	25.00	28.25	27.25	30.25	32.25	34.75	30.25	35.75	35.75	35.75
130	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	27.25	27.00	29.75	31.50	34.50	29.75	35.25	35.25	35.25
131	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	27.00	26.50	29.00	31.25	33.75	29.00	35.00	35.00	35.00
132	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.50	26.50	28.50	30.75	32.25	28.50	34.75	34.75	34.75
133	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.50	26.25	27.75	30.25	31.50	28.25	34.50	34.50	34.50
134	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.25	26.00	27.25	29.75	31.25	27.25	33.75	33.75	33.75
13	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	26.	25.	26.	29.	30.	27.	32.	32.	32.

5	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	75	00	00	75	00	25	25	25
136	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	25.50	25.75	28.50	30.25	26.50	31.50	31.50	31.50
137	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.50	25.50	28.25	29.75	26.50	31.25	31.25	31.25
138	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	25.25	25.50	27.25	29.00	26.25	30.75	30.75	30.75
139	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.25	25.00	25.25	27.00	28.50	26.00	30.25	30.25	30.25
140	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.50	28.25	25.75	29.75	29.75	29.75
141	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.50	27.25	25.50	29.00	29.00	29.00
142	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.25	27.00	25.50	28.50	28.50	28.50
143	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	26.00	26.50	25.25	28.25	28.25	28.25
144	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.75	26.50	25.25	27.25	27.25	27.25
145	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	26.25	25.00	27.00	27.00	27.00
146	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.50	26.00	25.00	26.75	26.75	26.75
147	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.25	25.25	25.00	26.25	26.25	26.25
148	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.25	25.25	25.00	25.75	25.25	25.75
149	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.25	25.00	25.25
150	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

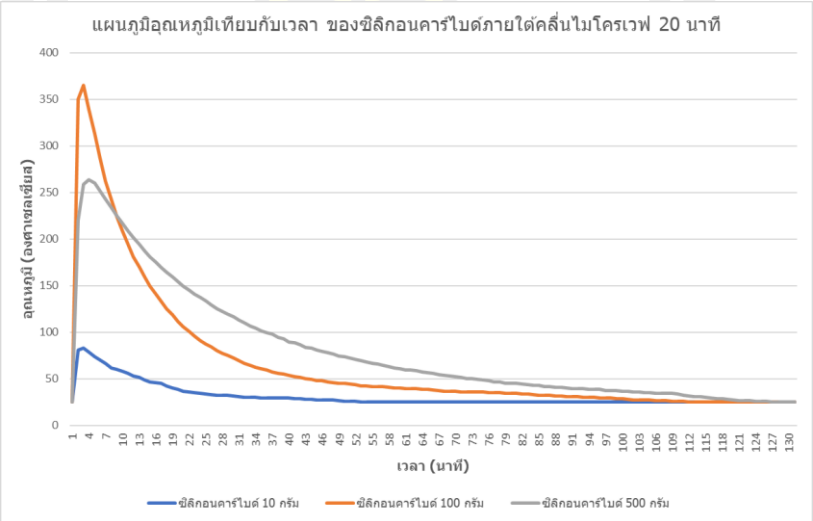
4.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4-9 จะนำค่าต่างๆ ที่ได้จากการวัดนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง เป็นกราฟแผนภูมิรูปภาพดังภาพประกอบ 33-38 จะเป็นกราฟเปรียบเทียบการนำซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลแตกต่างกันคือ 10 กรัม, 100 กรัม และ 500 กรัม ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ (โดยกำหนดใช้กำลังไฟฟ้าที่ 250 วัตต์) และใช้เวลาในแต่ละการวัดเท่ากันของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่แตกต่างกัน โดยกำหนด 10 นาที ดังภาพประกอบ 33, 20 นาที ดังภาพประกอบ 34, 30 นาที ดังภาพประกอบ 35, 40 นาที ดังภาพประกอบ 36, 50 นาที ดังภาพประกอบ 37 และ 60 นาที ดังภาพประกอบ 38



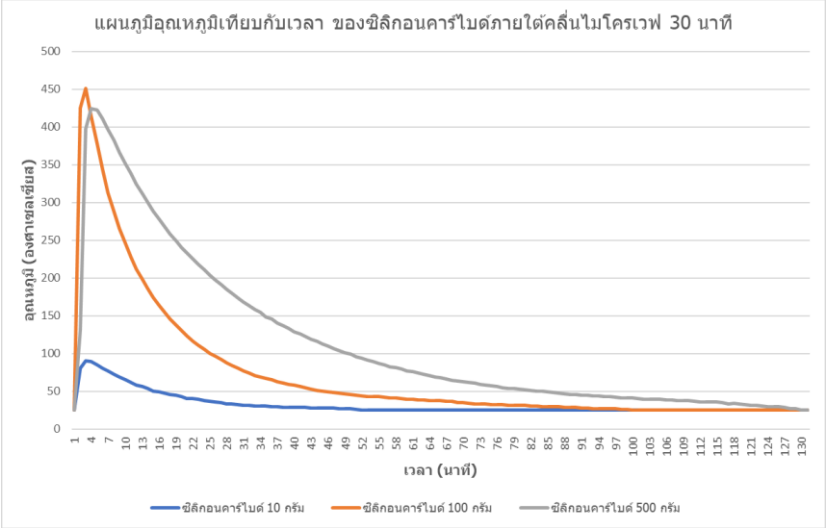
รูปภาพประกอบ 33 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 10 นาที

ภาพประกอบ 33 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 10 นาที จะสังเกตเห็นว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม มีอุณหภูมิสูงที่สุดประมาณ 350 องศาเซลเซียส ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม มีอุณหภูมิรองลงมาประมาณ 280 องศาเซลเซียส และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม มีอุณหภูมิต่ำที่สุดประมาณ 70 องศาเซลเซียส เมื่อซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม ถึงอุณหภูมิสูงสุด จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 10 นาที จะเริ่มมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม ซึ่งซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม อุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม จะใช้เวลาประมาณ 50 นาที ถึงจะคลายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส



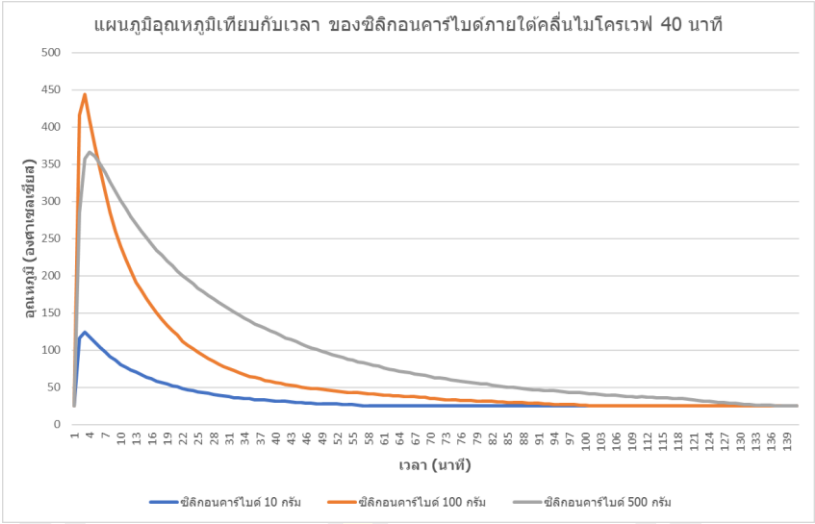
รูปภาพประกอบ 34 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 20 นาที

ภาพประกอบ 34 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 20 นาที จะสังเกตเห็นว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม มีอุณหภูมิสูงที่สุดประมาณ 370 องศาเซลเซียส ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม มีอุณหภูมิรองลงมาประมาณ 265 องศาเซลเซียส และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม มีอุณหภูมิต่ำที่สุดประมาณ 90 องศาเซลเซียส เมื่อซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม ถึงอุณหภูมิสูงสุด จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 10 นาที จะเริ่มมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม ซึ่งซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม อุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม จะใช้เวลาประมาณ 50 นาที ถึงจะคลายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส



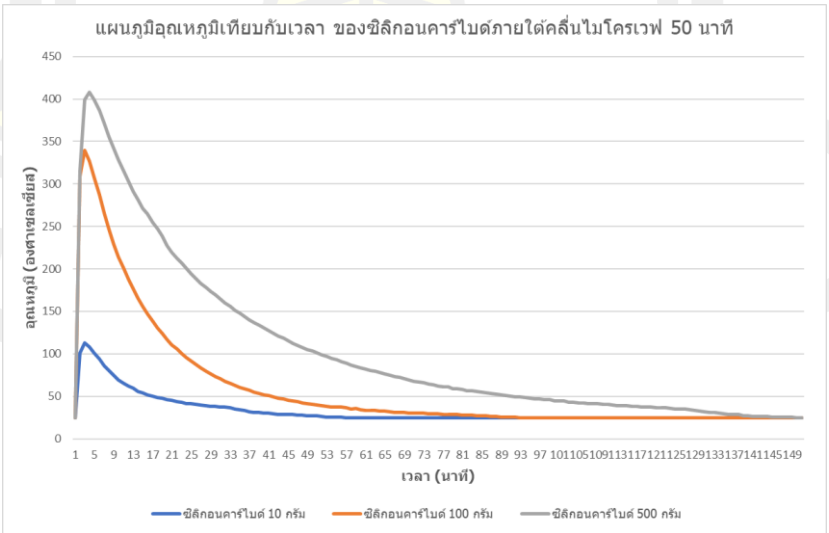
รูปภาพประกอบ 35 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 30 นาที

ภาพประกอบ 35 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 30 นาที จะสังเกตเห็นว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม มีอุณหภูมิสูงที่สุดประมาณ 450 องศาเซลเซียส ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม มีอุณหภูมิรองลงมาประมาณ 425 องศาเซลเซียส และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม มีอุณหภูมิต่ำที่สุดประมาณ 90 องศาเซลเซียส เมื่อซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม ถึงอุณหภูมิสูงสุด จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 5 นาที จะเริ่มมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม ซึ่งซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม อุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม จะใช้เวลาประมาณ 50 นาที ถึงจะคลายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส



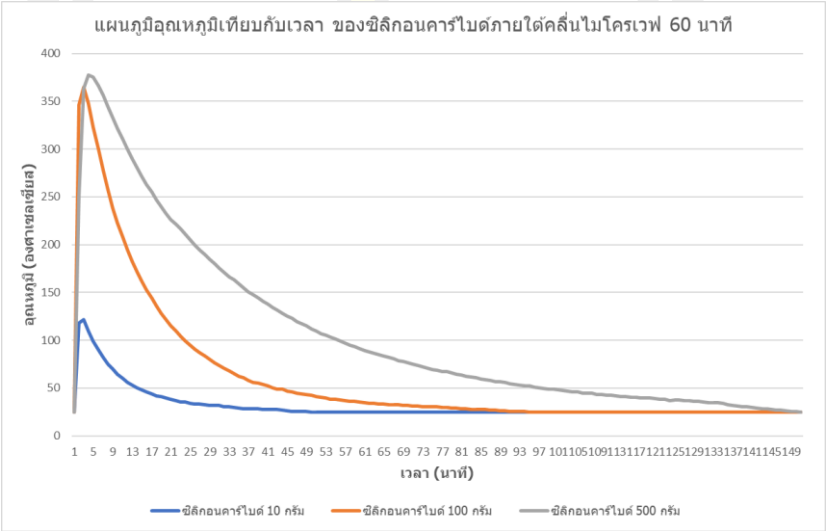
รูปภาพประกอบ 36 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 40 นาที

ภาพประกอบ 36 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 40 นาที จะสังเกตเห็นว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม มีอุณหภูมิสูงที่สุดประมาณ 445 องศาเซลเซียส ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม มีอุณหภูมิรองลงมาประมาณ 370 องศาเซลเซียส และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม มีอุณหภูมิต่ำที่สุดประมาณ 125 องศาเซลเซียส เมื่อซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม ถึงอุณหภูมิสูงสุด จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 7 นาที จะเริ่มมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม ซึ่งซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม อุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม จะใช้เวลาประมาณ 50 นาที ถึงจะคลายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส



รูปภาพประกอบ 37 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 50 นาที

ภาพประกอบ 37 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 50 นาที จะสังเกตเห็นว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม มีอุณหภูมิสูงที่สุดประมาณ 410 องศาเซลเซียส ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม มีอุณหภูมิรองลงมาประมาณ 340 องศาเซลเซียส และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม มีอุณหภูมิต่ำที่สุดประมาณ 115 องศาเซลเซียส เมื่อซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม ซึ่งซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม อุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม ถึงอุณหภูมิสูงสุด จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม จะใช้เวลาประมาณ 50 นาที ถึงจะคลายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส

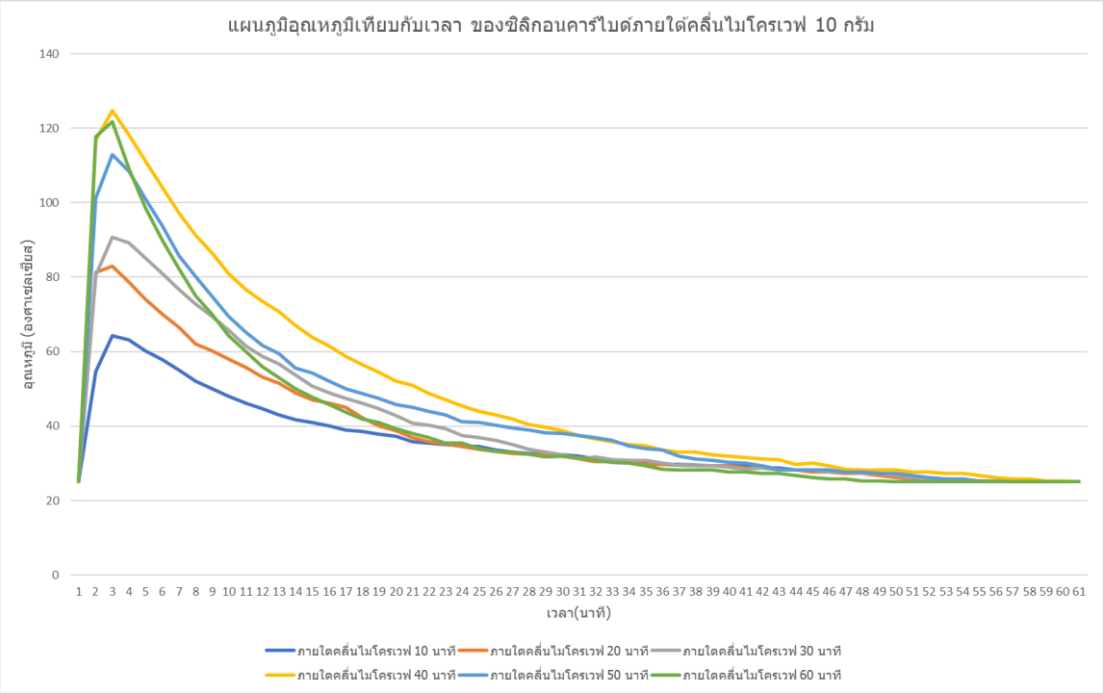


รูปภาพประกอบ 38 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 60 นาที

ภาพประกอบ 38 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 60 นาที จะสังเกตเห็นว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม มีอุณหภูมิสูงที่สุดประมาณ 380 องศาเซลเซียส ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม มีอุณหภูมิรองลงมาประมาณ 365 องศาเซลเซียส และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม มีอุณหภูมิต่ำที่สุดประมาณ 125 องศาเซลเซียส เมื่อซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม ซึ่งซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม อุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม ถึงอุณหภูมิสูงสุด จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม จะใช้เวลาประมาณ 50 นาที ถึงจะคลายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส

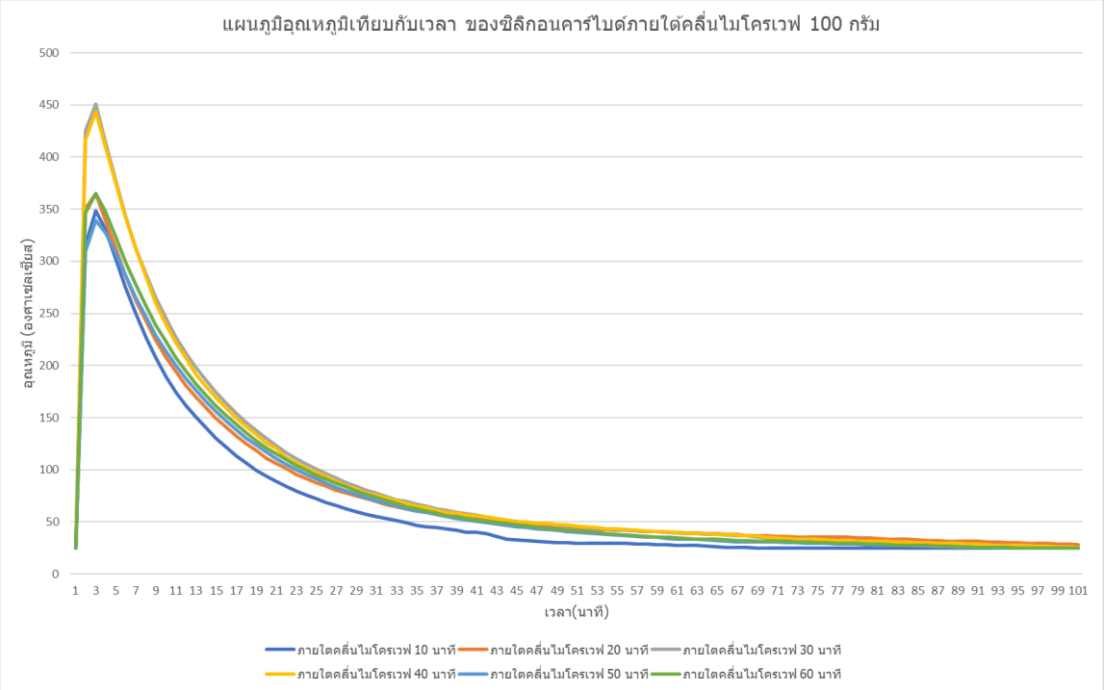
จากผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 10-12 จะนำค่าต่างๆ ที่ได้จากการวัดนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง เป็นกราฟแผนภูมิรูปภาพดังภาพประกอบ 39-41 จะเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบการนำซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลเท่ากันคือ 10 กรัม, 100 กรัม และ 500 กรัม ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ (โดยกำหนดใช้กำลังไฟฟ้าที่ 250 วัตต์) และใช้เวลาในแต่ละการวัดแตกต่างกันของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่

เท่ากัน โดยกำหนด 10 กรัม ดังภาพประกอบ 39, 100 กรัม ดังภาพประกอบ 40 และ 500 กรัม ดังภาพประกอบ 41



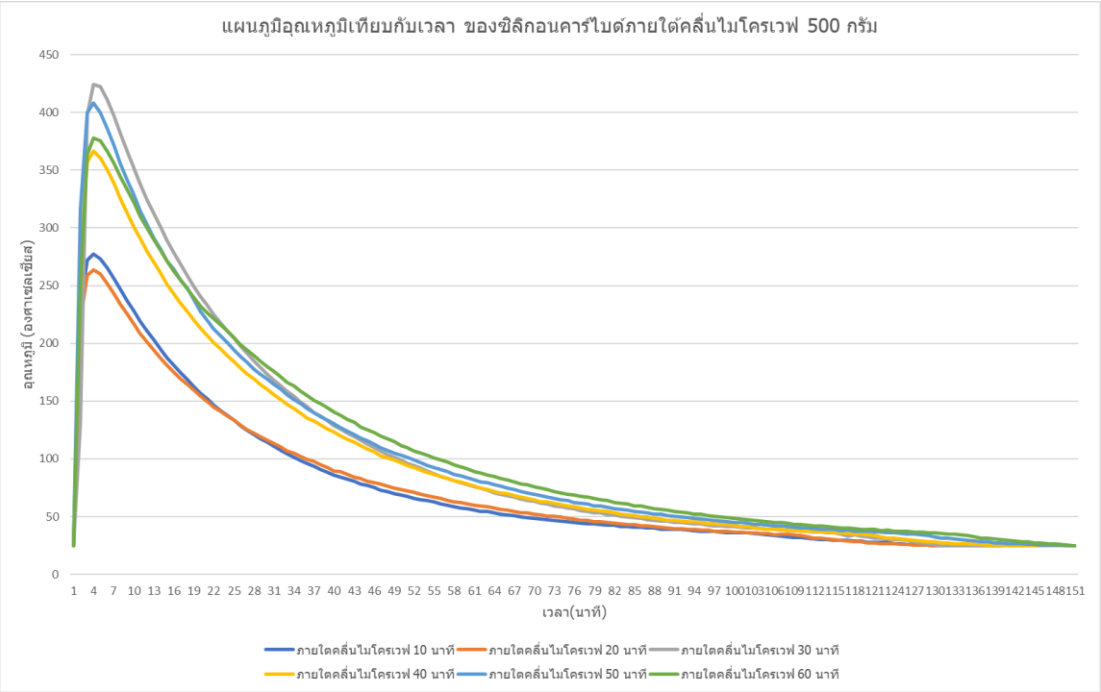
รูปภาพประกอบ 39 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 10 กรัม

ภาพประกอบ 39 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ระยะเวลา 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 40 นาที, 50 นาที และ 60 นาที จะสังเกตเห็นว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ระยะเวลา 40 นาที มีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ 125 องศาเซลเซียส รองลงมาอันดับสองคือ ระยะเวลา 60 นาที มีอุณหภูมิคือ 122 องศาเซลเซียส อันดับสามคือ ระยะเวลา 50 นาที มีอุณหภูมิคือ 113 องศาเซลเซียส อันดับสี่คือ ระยะเวลา 30 นาที มีอุณหภูมิคือ 91 องศาเซลเซียส อันดับห้าคือ ระยะเวลา 20 นาที มีอุณหภูมิคือ 83 องศาเซลเซียส ลันดับที่หก อันดับสุดท้ายคือ ระยะเวลา 10 นาที มีอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ซึ่งซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม จะใช้เวลาประมาณ 50 นาที ถึงจะคลายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส



รูปภาพประกอบ 40 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 100 กรัม

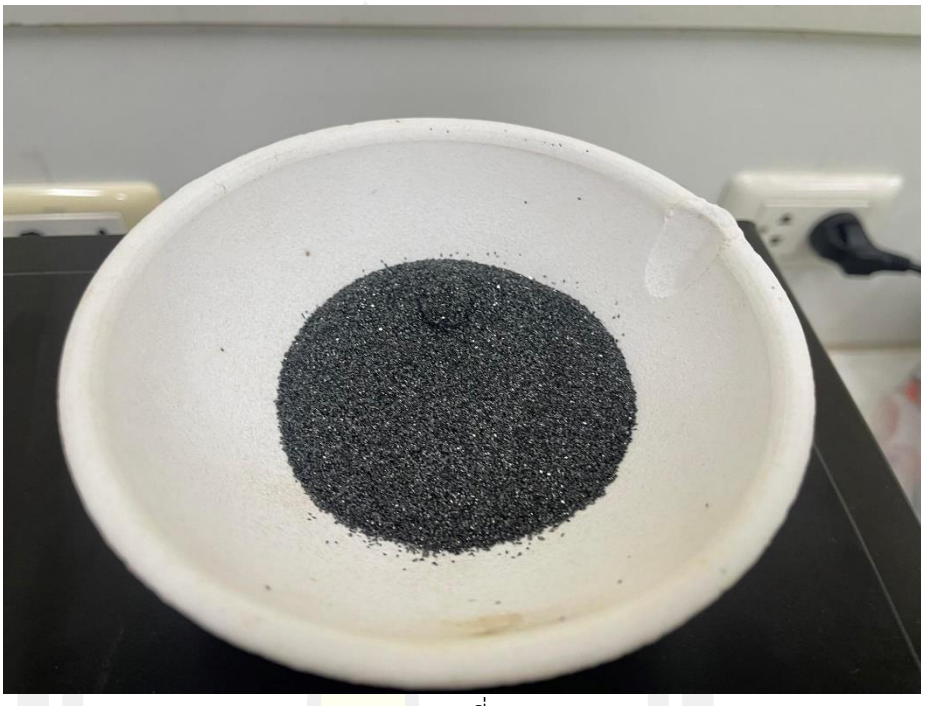
ภาพประกอบ 40 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ระยะเวลา 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 40 นาที, 50 นาที และ 60 นาที จะสังเกตเห็นว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ระยะเวลา 30 นาที มีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ 452 องศาเซลเซียส รองลงมาอันดับสองคือ ระยะเวลา 40 นาที มีอุณหภูมิคือ 445 องศาเซลเซียส อันดับสามคือ ระยะเวลา 20 นาที มีอุณหภูมิคือ 367 องศาเซลเซียส อันดับสี่คือ ระยะเวลา 60 นาที มีอุณหภูมิคือ 365 องศาเซลเซียส อันดับห้าคือ ระยะเวลา 10 นาที มีอุณหภูมิคือ 350 องศาเซลเซียส ลันดับที่หก อันดับสุดท้ายคือ ระยะเวลา 50 นาที มีอุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส ซึ่งซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม จะใช้เวลาประมาณ 90 นาที ถึงจะคลายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส



รูปภาพประกอบ 41 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ 500 กรัม

ภาพประกอบ 41 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ระยะเวลา 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 40 นาที, 50 นาที และ 60 นาที จะสังเกตเห็นว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ระยะเวลา 30 นาที มีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ 425 องศาเซลเซียส รองลงมาอันดับสองคือ ระยะเวลา 50 นาที มีอุณหภูมิคือ 408 องศาเซลเซียส อันดับสามคือ ระยะเวลา 60 นาที มีอุณหภูมิคือ 380 องศาเซลเซียส อันดับสี่คือ ระยะเวลา 40 นาที มีอุณหภูมิคือ 367 องศาเซลเซียส อันดับห้าคือ ระยะเวลา 10 นาที มีอุณหภูมิคือ 278 องศาเซลเซียส ลันดับที่หก อันดับสุดท้ายคือ ระยะเวลา 20 นาที มีอุณหภูมิ 265 องศาเซลเซียส ซึ่งซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 150 กรัม จะใช้เวลาประมาณ 150 นาที ถึงจะคลายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส

4.8 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ



รูปภาพประกอบ 42 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

จากภาพประกอบ 42 พบว่าเมื่อซิลิกอนคาร์ไบด์คายความร้อนจนถึงอุณหภูมิปกติ จะมีการจับตัวของซิลิกอนคาร์ไบด์ มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดตั้งแต่ 3 มิลลิเมตร ถึง15มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดและจำนวน ไม่เท่ากันในแต่ละครั้งของการทดสอบ อาจเกิดจากจุดความร้อน (hot spots) ทำให้บางจุดมีอุณหภูมิสูงมาก จึงเกิดจับตัวของซิลิกอนคาร์ไบด์ได้

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้นำเสนอในบทที่ 4 ไปแล้วนั้น และจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัย สามารถสรุปผลการทดลองได้เป็น 2 ส่วน คือ 1. การศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ และ 2. ศึกษาเวลาการคลายความร้อนของซิลิกอนคาร์ไบด์ ดังนี้

1. การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของซิลิกอนคาร์ไบด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ โดยผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิและเวลาที่เปลี่ยนแปลงหลังจากซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม, 100 กรัม และ 500 กรัม และอยู่ภายใต้ลื่นไมโครเวฟในระยะเวลา 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 40 นาที, 50 นาที และ 60 นาที

2. การศึกษาเวลาการคลายความร้อนของซิลิกอนคาร์ไบด์ หลังจากอยู่ภายใต้คลื่นไมโครเวฟครบตามเวลาที่กำหนดคือ 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 40 นาที, 50 นาที และ 60 นาที เพื่อดูอุณหภูมิสูงสุดของซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม, 100 กรัม และ 500 กรัม

5.2 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จากบทที่ 4 ในตารางที่ 4-12 จะเป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิกับเวลาของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีมวลแตกต่างกันคือ 10 กรัม, 100 กรัม และ 500 กรัม โดยใช้เวลาให้ซิลิกอนคาร์ไบด์อยู่ภายใต้คลื่นไมโครเวฟให้ครบตามเวลาที่กำหนดคือ 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 40 นาที, 50 นาที และ 60 นาที ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ในระยะเวลาที่ซิลิกอนคาร์ไบด์อยู่ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ที่เวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที และ 40 นาที ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 100 กรัม จะมีอุณหภูมิสูงที่สุดในช่วงแรกประมาณ 340-452 องศาเซลเซียส แต่จะเก็บอุณหภูมิความร้อนได้ไม่นานก็จะเกิดการคลายความร้อนอย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาประมาณ 90 นาที ถึงจะคลายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส
2) ในระยะเวลาที่ซิลิกอนคาร์ไบด์อยู่ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ที่เวลา 50 นาที และ 60 นาที ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 500 กรัม จะมีอุณหภูมิสูงที่สุดประมาณ 256-425 องศาเซลเซียส

ซึ่งจะเก็บอุณหภูมิความร้อนได้นานที่สุดของมวลที่ใช้ในการทดลองคือ 10 กรัม, 100 กรัม และ 500 กรัม และการคลายความร้อนอย่างช้าๆ โดยใช้เวลาประมาณ 150 นาที ถึงจะคลายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส

3) ซิลิกอนคาร์ไบด์มวล 10 กรัม อยู่ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ จะมีอุณหภูมิต่อที่สุดเมื่อเทียบกับ มวล 100 กรัม และ 500 กรัม จะมีอุณหภูมิสูงที่สุดประมาณ 65-125 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเก็บอุณหภูมิความร้อนได้ไม่นาน โดยใช้เวลาประมาณ 50 นาที ถึงจะคลายความร้อนกลับมายังอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส

จากการทดลองพบว่าแนวโน้มการคายความร้อนมีแนวโน้มลดลงตามมวลของซิลิคอนคาไบด์ เนื่องจาก พิจาราณาเปรียบเทียบพื้นที่ผิวสัมผัสกับอุณภูมิภายนอกต่อมวลของซิลิคอนคาร์ไบด์ จะได้อัตราส่วนดังนี้ มวล10 กรัม 100 กรัม และ 500 กรัม ได้พื้นที่ผิวสัมผัสกับอุณภูมิภายนอก 12.56 ตารางเซนติเมตร 56.73 ตารางเซนติเมตร และ 113.10 ตารางเซนติเมตร หากคิดเป็นอัตราส่วนต่อมวลได้ 1.26 0.57 และ0.23 พบว่าอัตราส่วนต่อมวลของขนาด 10 กรัม มีอัตราส่วนต่อมวลสูงที่สุด แสดงว่าพื้นที่สัมผัสกับอุณหภูมิภายนอกมากที่สุดส่งผลให้การคายความร้อนได้เร็วที่สุด และที่มวลขนาด 100กรัม 500กรัม จะใช้ระยะเวลาช้าลงมาตามลำดับ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

[1] Chananil, P., Chaekamhod, N., Detkhon, P., & Chananil, S. (2020). ศึกษา การ เตรียม นาโน ซิ ลิ ก อน คา ร์ ไบ ด์ จาก แกลบ ข้าว หอม มะลิ และ ถ่าน เปลือก ทุเรียน. Journal of Roi Et Rajabhat University: Science and Technology, 1(1), 36-43.

[2] Wang. F., Xiang. D., Wang. Y. and Li. J. (2017). Rapid synthesis of SiC powders by spark plasma-assisted carbothermal reduction reaction. Ceramics International, 43 (6), 4970-4975.

[3] Qamar. A., Mahmood. A., Sarwar. T. and Ahmed. N. (2011). Synthesis and characterization of porous crystalline SiC thin films prepared by radio frequency reactive magnetron sputtering technique. Applied Surface Science, 257(15), 6923-6927

[4] Haijuan. Z., Na. Z., Dan. W., Zhiqiang. W., Shuxian. B., Baojun. M. and Wanyi. L. (2019). Controlled synthesis of β-SiC with a novel microwave sintering method. Materials Letters, 255, 15 November, 126586

[5] Omidi. Z., Ghasemi. A. and RezaBakhshi. S. (2015). Synthesis and characterization of SiC ultrafine particles by means of sol-gel and carbothermal reduction methods. Ceramics International, 41(4), 5779-5784.

[6] Maria. S., Sergio. G., Carmela. S., Pierpaolo. I., Sabrina. P., Carmela. B. and Claudia. C. (2019). Dopamine sensor in real sample based on thermal plasma silicon carbide nanopowders. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 131, 213-222.

[7] Janghorban. K. and Tazesh. H. R. (1999). Effect of catalyst and process parameters on the production of silicon carbide from rice hulls. Ceramics International, 25 (1), 7-12

[8] บุญ ถ่าน, รุ่งอรุณ, อุดม ผล, & ฐา ป นี ย์. (2012). ผล กระทบ จาก การ เติม Al-5Ti-B Sr และ Mg ต่อ โครงสร้าง ทาง จุลภาค และ สมบัติ ของ วัสดุ เชิง ประกอบ พื้น อะลูมิเนียม ที่ เสริม แรง ด้วย ผง ซิลิคอน คา ร์ ไบ ด์. Srinakharinwirot Engineering Journal, 6(1).

[9] Nava, F., Bertuccio, G., Cavallini, A., & Vittone, E. (2008). Silicon carbide and its use as a radiation detector material. Measurement Science and Technology, 19(10), 102001.

[10] Sawaguchi, A., Toda, K., & Niihara, K. (1991). Mechanical and electrical properties of silicon nitride–silicon carbide nanocomposite material. Journal of the American Ceramic Society, 74(5), 1142-1144.

[11] Lewis, R. S., Amari, S., & Anders, E. (1990). Meteoritic silicon carbide: pristine material from carbon stars. Nature, 348(6299), 293-298.

[12] Foti, G. (2001). Silicon carbide: from amorphous to crystalline material. Applied Surface Science, 184(1-4), 20-26.

[13] รุ่งอรุณ, บ. ถ., & บุญ ถ่าน. สมบัติ เชิงกล ของ วัสดุ เชิง ประกอบ พื้น อะลูมิเนียม เสริม แรง ด้วย อนุภาค ซิลิคอน คา ร์ ไบ ด์ ที่ ขึ้น รูป ด้วย วิธี กวน ผสม (Doctoral dissertation, สาขา วิศวกรรม โลหการ สำนัก วิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยี สุร นารี).

[14] ฐา ป นี ย์, & พัชร วิ ช ญ์. รายงาน การ วิจัย ความ ต้านทาน การ สึกหรอ ของ วัสดุ เชิง ประกอบ พื้น อะลูมิเนียม เสริม แรง ด้วย อนุภาค ซิลิคอน คา ร์ ไบ ด์ ผลิต ด้วย กระบวนการ โลห วิทยา โลหะ ผง.

[15] สุข เกษม, & กังวาน ตระกูล. รายงาน การ วิจัย การ ปรับปรุง สมบัติ เชิงกล ของ อะ ลู มิ นา ด้วย อนุภาค นาโน ซิลิคอน คา ร์ ไบ ด์.

[16] Luis, C. J., Puertas, I., & Villa, A. G. (2005). Material removal rate and electrode wear study on the EDM of silicon carbide. Journal of materials processing technology, 164, 889-896.

[17] Krotz, G., Legner, W., Wapner, C., Moller, H., Sonntag, H., & Muller, G. (1995, June). Silicon carbide as a mechanical material. In Proceedings of the International Solid-State Sensors and Actuators Conference-TRANSDUCERS'95 (Vol. 2, pp. 186-189). IEEE.

[18] Yajima, S., Hayashi, J., & Omori, M. (1975). Continuous silicon carbide fiber of high tensile strength. Chemistry Letters, 4(9), 931-934.

[19] แมน มนัส ศรี แก้ว. (2020). วัสดุ มหัศจรรย์ แก ร ฟี น: กลยุทธ์ การ สังเคราะห์ สมบัติ การ พัฒนา การ พิสูจน์ เอกลักษณ์ และ การ ประยุกต์ ใช้. วารสาร วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี, 22(2), 39-49.

[20] พิศิษฐ์ สิงห์ใจ. (2551) การสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิคอนคาร์ไบด์และท่อนาโนคาร์บอนให้ได้ปริมาณมาก. ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่:เชียงใหม่. [Online]. Available: https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DOI=10.14457/CMU.res.2008.245 (11 January 2022)

[21] Wesch, W. (1996). Silicon carbide: synthesis and processing. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam interactions with materials and atoms, 116(1-4), 305-321.

[22] Abderrazak, H., & Hmida, E. S. B. H. (2011). Silicon carbide: synthesis and properties. Properties and applications of Silicon Carbide, 361-388.

[23] Arunajatesan, S., & Carim, A. H. (1995). Synthesis of titanium silicon carbide. Journal of the American Ceramic Society, 78(3), 667-672.

[24] Taguchi, T., Igawa, N., Yamamoto, H., & Jitsukawa, S. (2005). Synthesis of silicon carbide nanotubes. Journal of the American Ceramic Society, 88(2), 459-461.

[25] Hasegawa, Y., Iimura, M., & Yajima, S. (1980). Synthesis of continuous silicon carbide fibre. Journal of Materials Science, 15(3), 720-728.

[26] Jin, G. Q., & Guo, X. Y. (2003). Synthesis and characterization of mesoporous silicon carbide. Microporous and mesoporous materials, 60(1-3), 207-212.

[27] Hasegawa, Y., & Okamura, K. (1983). Synthesis of continuous silicon carbide fibre. Journal of Materials science, 18(12), 3633-3648.

[28] Hasegawa, Y. (1989). Synthesis of continuous silicon carbide fibre. Journal of materials science, 24(4), 1177-1190.

[29] ฐา ป นี ย์, & พัชร วิ ช ญ์. รายงาน การ วิจัย พฤติกรรม ที่ อุณหภูมิ ห้อง-สูง ของ วัสดุ ประกอบ พื้น อะลูมิเนียม เสริม แรง ด้วย ผง ซิลิคอน คา ร์ ไบ ด์ ผลิต ด้วย วิธี ฉีด ขึ้น รูป วัสดุ ผง และ เผา ผนึก สำหรับ อุตสาหกรรม ชิ้น ส่วน ยาน ยนต์.

[30] Sarro, P. M. (2000). Silicon carbide as a new MEMS technology. Sensors and Actuators A: Physical, 82(1-3), 210-218.

[31] Oliveros, A., Guiseppi-Elie, A., & Saddow, S. E. (2013). Silicon carbide: a versatile material for biosensor applications. Biomedical microdevices, 15(2), 353-368.

[32] Zorman, C. A. (2009, April). Silicon carbide as a material for biomedical microsystems. In 2009 Symposium on Design, Test, Integration & Packaging of MEMS/MOEMS (pp. 1-7). IEEE.

[33] Moissan, Henri (1904). "Nouvelles recherches ซูร์ลาเดอุกกาบาตCañon Diablo" Comptes Rendus 139 : 773–86

[34] Raolison, Z., Dubois, M., Luong, M., Neves, A. L., Mauconduit, F., Enoch, S., ... & Vignaud, A. (2022). Evaluation of new MR invisible silicon carbide based dielectric pads for 7 T MRI. Magnetic Resonance Imaging, 90, 37-43.

[35] Byravarapu, R. R. (2015). Physics Based Analytical Model of Silicon Carbide MESFET with Effective Drift Velocity and Mobility (Doctoral dissertation, California State University, Northridge).

[36] opticoatthailand. “ทำไม Opti-Coat เลือกเคลือบเซรามิคที่เป็น ซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide : SiC)”. [Online]. Available: https://www.opticoatthailand.com/2015/05/12/opti-coat-ทำไมต้องซิลิกอนคาร์ไบ/ (20 January 2022)

[37] thpanorama. “โครงสร้างทางเคมีคุณสมบัติและการใช้งานของซิลิกอนคาร์ไบด์”. [Online]. Available: https://th.thpanorama.com/articles/qumica/carburo-de-silicio-estructura-qumica-propiedades-y-usos.html (21 January 2022)

[38] Brennan, D. R., Chan, H. K., Wright, N. G., & Horsfall, A. B. (2018). Silicon Carbide Oscillators for Extreme Environments. In Low Power Semiconductor Devices and Processes for Emerging Applications in Communications, Computing, and Sensing (pp. 225-252). CRC Press.

[39] andaindustrial. “คุณสมบัติวัสดุของซิลิกอนคาร์ไบด์”. [Online]. Available: http://m.th.andaindustrial.com/news/material-properties-of-silicon-carbide-21455471.html (22 January 2022)

[40] pubchem. “Computed Properties” [Online]. Available: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/9863#section=Computed-Properties (23 January 2022)

[41] Rong, B., Reeves, R. J., Brown, S. A., Alkaisi, M. M., van der Drift, E. W. J. M., Cheung, R., & Sloof, W. G. (2001). A study of reactive ion etching damage effects in GaN. Microelectronic engineering, 57, 585-591.

[42] Wang, X., Schmidt, F., Hanaor, D., Kamm, P. H., Li, S., & Gurlo, A. (2019). Additive manufacturing of ceramics from preceramic polymers: A versatile stereolithographic approach assisted by thiol-ene click chemistry. Additive manufacturing, 27, 80-90.

[43] Morkoc, B. H., Strite, S., Gao, G. B., Lin, M. E., Sverdlov, B., & Burns, M. (1994). Large-band-gap SiC, III-V nitride, and II-VI ZnSe-based semiconductor device technologies. Journal of Applied physics, 76(3), 1363-1398.

[44] siamchemi. “คลื่นไมโครเวฟ”. [Online]. Available: https://www.siamchemi.com/คลื่นไมโครเวฟ/ (24 January 2022)

[45] Wikipedia. “ไมโครเวฟ”. [Online]. Available: https://th.wikipedia.org/wiki/ไมโครเวฟ (24 January 2022)

[46] Butcher, Ginger. Tour of the electromagnetic spectrum. National Aeronautics and Space Administration, 2010.

[47] Moshtaghioun, B. M., Poyato, R., Cumbrera, F. L., de Bernardi-Martin, S., Monshi, A., Abbasi, M. H., ... & Dominguez-Rodriguez, A. (2012). Rapid carbothermic synthesis of silicon carbide nano powders by using microwave heating. Journal of the european ceramic society, 32(8), 1787-1794.

[48] Tony, V. C. S., Voon, C. H., Lim, B. Y., Al-Douri, Y., Gopinath, S. C. B., Arshad, M. M., ... & Ruslinda, A. R. (2019). Synthesis of silicon carbide nanomaterials by

microwave heating: Effect of types of carbon nanotubes. Solid State Sciences, 98, 106023.

[49] Satapathy, L. N., Ramesh, P. D., Agrawal, D., & Roy, R. (2005). Microwave synthesis of phase-pure, fine silicon carbide powder. Materials Research Bulletin, 40(10), 1871-1882.

[50] Simonenko, E. P., Simonenko, N. P., Derbenev, A. V., Nikolaev, V. A., Grashchenkov, D. V., Sevastyanov, V. G., ... & Kuznetsov, N. T. (2013). Synthesis of nanocrystalline silicon carbide using the sol-gel technique. Russian Journal of Inorganic Chemistry, 58(10), 1143-1151.

[51] Seog, I. S., & Kim, C. H. (1993). Preparation of monodispersed spherical silicon carbide by the sol-gel method. Journal of Materials Science, 28(12), 3277-3282.

[52] Hatakeyama, F., & Kanzaki, S. (1990). Synthesis of Monodispersed Spherical β-Silicon Carbide Powder by a Sol-Gel Process. Journal of the American Ceramic Society, 73(7), 2107-2110.

[53] Weimer, A. W., Nilsen, K. J., Cochran, G. A., & Roach, R. P. (1993). Kinetics of carbothermal reduction synthesis of beta silicon carbide. AIChE Journal, 39(3), 493-503.

[54] Martin, H. P., Ecke, R., & Müller, E. (1998). Synthesis of nanocrystalline silicon carbide powder by carbothermal reduction. Journal of the European Ceramic Society, 18(12), 1737-1742.

[55] Seo, W. S., Koumoto, K., & Aria, S. (2000). Morphology and stacking faults of β-silicon carbide whisker synthesized by carbothermal reduction. Journal of the American Ceramic Society, 83(10), 2584-2592.

[56] Chen, C. Y., Lin, C. I., & Chen, S. H. (2000). Kinetics of synthesis of silicon carbide by carbothermal reduction of silicon dioxide. British ceramic transactions, 99(2), 57-62.

[57] Czosnek, C., Bućko, M. M., Janik, J. F., Olejniczak, Z., Bystrzejewski, M., Łabędź, O., & Huczko, A. (2015). Preparation of silicon carbide SiC-based nanopowders by the aerosol-assisted synthesis and the DC thermal plasma synthesis methods. *Materials Research Bulletin*, *63*, 164-172.

[58] Oh, S. M., Cappelli, M., & Park, D. W. (2002). Preparation of nano-sized silicon carbide powder using thermal plasma. Korean Journal of Chemical Engineering, 19(5), 903-907.

[59] ธรา วุ ธ, & บุญน้อม. การ พัฒนา เตา อบ ไมโครเวฟ ร่วม กับ ลม ร้อน แบบ ต่อ เนื่อง (Doctoral dissertation, สาขา วิชา วิศวกรรม เกษตร และ อาหาร สำนัก วิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยี สุร นารี).

[60] Assawarachan, R. (2013). จลนพลศาสตร์ การ อบ แห้ง ด้วย คลื่น ไมโครเวฟ ระบบ สุญญากาศ ของ สาหร่าย เตา. วารสาร สมาคม วิศวกรรม เกษตร แห่ง ประเทศไทย, 19(1).

[61] หมุดตอเล็บ หนิสอ. การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ. (1. คลื่นไมโครเวฟและการให้ความร้อนกับวัสดุ). หน่วยวิจัยพลาสมาประยุกต์เพื่อการกสิกรรม สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ . [Online]. Available: http://thep-center.org/src/article_edu_t.php?article_edu_id=5. (25 January 2022)

[62] Obermayer, D., Gutmann, B., & Kappe, C. O. (2009). Microwave chemistry in silicon carbide reaction vials: separating thermal from nonthermal effects. Angewandte Chemie International Edition, 48(44), 8321-8324.

[63] Kappe, C. O. (2013). Unraveling the mysteries of microwave chemistry using silicon carbide reactor technology. Accounts of chemical research, 46(7), 1579-1587.

[64] Satapathy, L. N., Ramesh, P. D., Agrawal, D., & Roy, R. (2005). Microwave synthesis of phase-pure, fine silicon carbide powder. Materials Research Bulletin, 40(10), 1871-1882.

[65] Kremsner, J. M., & Kappe, C. O. (2006). Silicon carbide passive heating elements in microwave-assisted organic synthesis. The Journal of organic chemistry, 71(12), 4651-4658.

[66] Gutmann, B., Obermayer, D., Reichart, B., Prekodravac, B., Irfan, M., Kremsner, J. M., & Kappe, C. O. (2010). Sintered Silicon Carbide: A New Ceramic Vessel Material for Microwave Chemistry in Single‐Mode Reactors. Chemistry–A European Journal, 16(40), 12182-12194.

[67] Razzaq, T., Kremsner, J. M., & Kappe, C. O. (2008). Investigating the existence of nonthermal/specific microwave effects using silicon carbide heating elements as power modulators. The Journal of organic chemistry, 73(16), 6321-6329.

[68] Wang, Y., Iqbal, Z., & Mitra, S. (2006). Rapid, low temperature microwave synthesis of novel carbon nanotube–silicon carbide composite. Carbon, 44(13), 2804-2808.

[69] Robinson, J., Kingman, S., Irvine, D., Licence, P., Smith, A., Dimitrakis, G., ... & Kappe, C. O. (2010). Electromagnetic simulations of microwave heating experiments using reaction vessels made out of silicon carbide. Physical Chemistry Chemical Physics, 12(36), 10793-10800.

[70] Damm, M., & Kappe, C. O. (2009). Parallel microwave chemistry in silicon carbide reactor platforms: an in-depth investigation into heating characteristics. Molecular diversity, 13(4), 529-543.

[71] Ebadzadeh, T., & Marzban-Rad, E. (2009). Microwave hybrid synthesis of silicon carbide nanopowders. Materials Characterization, 60(1), 69-72.

[72] Panasonic. “เตาอบไมโครเวฟ ความจุ 20 ลิตร NN-SM23JMTPE”. [Online]. Available: https://www.panasonic.com/th/consumer/kitchen-appliances/microwave-oven/nn-sm23jmtpe.html (26 January 2022)

[73] sangchaimeter. “เครื่องวัดและทดสอบทางอิเล็กทรอนิกส์”. [Online] Available: https://www.sangchaimeter.com/product_page/เครื่องวัดและทดสอบทางอิเล็กทรอนิกส์/gw-instek/gds-1152a-u-ดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป (29 January 2022)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นันทวัฒน์ ไชยพาพิมพ์
วันเกิด	7 กันยายน 2540
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลมหาสารคาม
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	20 หมู่1 ต.ดงใหญ่ อ.วาปีปทุม จ.มหาสารคาม 44120
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2556-2558 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนดงใหญ่วิทยาคม รัชมังคลาภิเษก พ.ศ.2559-2562 ปริญญาวิศกรรมศาสตรบัณฑิต(วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ.2563-ปัจจุบัน ปริญญาวิศกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม