

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
Abstract	iii
1. บทนำ	1
1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเฟอร์ไรท์	1
1.2 สมบัติของเฟอร์ไรท์	3
1.3 Copper ferrite	3
1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเฟอร์ไรท์	4
1.5 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	7
1.6 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	7
1.7 ขอบเขตของโครงการวิจัย	7
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
2. การทดลองและผลการทดลอง	9
2.1 สารเคมีที่ใช้	9
2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	9
2.3 การสังเคราะห์ CuFe_2O_4 โดยวิธี reflux	10
2.3.1 วิธีทดลอง	10
2.3.2 ผลการทดลอง	13
ก. ผลการวิเคราะห์โดย XRD	14
ข. ผลการวิเคราะห์โดย FTIR	21
ค. ผลการวิเคราะห์โดย SEM	23
ง. สมบัติแม่เหล็ก (Magnetic property)	27
2.4 การสังเคราะห์ CuFe_2O_4 โดยวิธี solvothermal	38
โดยใช้ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ เป็นสารตั้งต้น	
2.4.1 วิธีทดลอง	38
2.4.2 ผลการทดลอง	39

ก. ผลการวิเคราะห์โดย XRD	41
ข. ผลการวิเคราะห์โดย FTIR	46
ค. ผลการวิเคราะห์โดย SEM	51
ง. สมบัติแม่เหล็ก (Magnetic property)	55
2.5 การสังเคราะห์ CuFe_2O_4 โดยวิธี solvothermal โดยใช้ $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นสารตั้งต้น	59
2.5.1 วิธีทดลอง	59
2.5.2 ผลการทดลอง	60
ก. ผลการวิเคราะห์โดย XRD	62
ข. ผลการวิเคราะห์โดย FTIR	65
ค. ผลการวิเคราะห์โดย SEM	67
ง. ผลการวิเคราะห์โดย TEM	72
จ. สมบัติแม่เหล็ก (Magnetic property)	75
2.6 การสังเคราะห์ CuFe_2O_4 โดยวิธี microwave – hydrothermal	78
2.6.1 วิธีทดลอง	78
2.6.2 ผลการทดลอง	78
ก. ผลการวิเคราะห์โดย XRD	79
ข. ผลการวิเคราะห์โดย FTIR	81
ค. ผลการวิเคราะห์โดย TEM	83
ง. ผลการวิเคราะห์หาการกระจายของขนาดอนุภาค	91
จ. สมบัติแม่เหล็ก (Magnetic property)	96
3. วิจารณ์ผลการทดลอง	98
4. สรุปผลการทดลอง	105
5. เอกสารอ้างอิง	106
6. ภาคผนวก	107

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงสถานะและผลการสังเคราะห์ CuFe_2O_4 โดย วิธี reflux โดยใช้ $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ และ $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ เป็นสารตั้งต้น	13
ตารางที่ 2.2 สรุปสมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี reflux	37
ตารางที่ 2.3 แสดงสถานะและผลการสังเคราะห์ CuFe_2O_4 โดยวิธี solvothermal โดยใช้ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ เป็นสารตั้งต้น	39
ตารางที่ 2.4 สรุปสมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี Solvothermal โดยใช้ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ เป็นสารตั้งต้น	58
ตารางที่ 2.5 แสดงสถานะและผลการสังเคราะห์ CuFe_2O_4 โดยวิธี solvothermal โดยใช้ $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นสารตั้งต้น	60
ตารางที่ 2.6 สรุปสมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี Solvothermal โดยใช้ $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นสารตั้งต้น	77
ตาราง 2.7 แสดงสถานะและผลการสังเคราะห์ CuFe_2O_4 โดยวิธี microwave – hydrothermal โดยใช้ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ และ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ เป็นสารตั้งต้น	78
ตารางที่ 2.8 แสดงขนาดของอนุภาค ของ CuFe_2O_4 ที่วัดจากภาพ TEM	95
ตารางที่ 2.9 แสดงขนาดของอนุภาคของ CuFe_2O_4 ที่ได้จากการ Scherrer's equation (คำนวณจาก peak(311))	95
ตารางที่ 2.10 สรุปสมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 ที่ศึกษาโดยเทคนิค VSM (C = หลัง calcine)	97

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 9, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 1 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	14
รูปที่ 2.2 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 11, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 1 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	15
รูปที่ 2.3 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 9, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 3 ชั่วโมง)	15
รูปที่ 2.4 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 11, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 3 ชั่วโมง)	16
รูปที่ 2.5 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 9, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 3 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	16
รูปที่ 2.6 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 11, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 3 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่อุณหภูมิ 900°C 3 ชั่วโมง)	17
รูปที่ 2.7 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 9, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง)	17
รูปที่ 2.8 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 11, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง)	18
รูปที่ 2.9 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 9, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 700°C 3 ชั่วโมง)	18
รูปที่ 2.10 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 11, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 700°C 3 ชั่วโมง)	19
รูปที่ 2.11 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 9, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	19
รูปที่ 2.12 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 11, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	20
รูปที่ 2.13 FTIR สเปกตรัม ของ CuFe_2O_4 ((a) pH7, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 1 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่อุณหภูมิ 900°C 3 ชั่วโมง (b) pH9, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 1 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่อุณหภูมิ 900°C 3 ชั่วโมง (c) pH11, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 1 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่อุณหภูมิ 900°C 3 ชั่วโมง)	21

รูปที่ 2.14 FTIR สเปกตรัม ของ CuFe_2O_4 ((a) pH11, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง (b) pH 9, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 3 ชั่วโมง (c) pH11, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง (d) pH9, reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 3 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่อุณหภูมิ 900°C 3 ชั่วโมง)	22
รูปที่ 2.15 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 9 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 1 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	23
รูปที่ 2.16 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 11 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 1 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	23
รูปที่ 2.17 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 11 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 3 ชั่วโมง)	24
รูปที่ 2.18 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 9 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 3 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	24
รูปที่ 2.19 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 11 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 3 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	25
รูปที่ 2.20 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 11 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง)	25
รูปที่ 2.21 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 9 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	26
รูปที่ 2.22 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 11 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	26
รูปที่ 2.23 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 9 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 3 ชั่วโมง)	27
รูปที่ 2.24 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 11 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 3 ชั่วโมง)	28
รูปที่ 2.25 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 9 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง)	29
รูปที่ 2.26 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 11 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง)	30
รูปที่ 2.27 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 9 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 1 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	31
รูปที่ 2.28 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 9 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 3 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	32
รูปที่ 2.29 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 9 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	33

รูปที่ 2.30 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 11 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 1 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	34
รูปที่ 2.31 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 11 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 3 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	35
รูปที่ 2.32 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 11 , reflux ที่อุณหภูมิ 200°C 5 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 900°C 3 ชั่วโมง)	36
รูปที่ 2.33 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 7–12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง)	41
รูปที่ 2.34 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 9, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 450°C , 600°C , 800°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง)	42
รูปที่ 2.35 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 10, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 450°C , 600°C , 800°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง)	43
รูปที่ 2.36 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 11, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 450°C , 600°C , 800°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง)	44
รูปที่ 2.37 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 450°C , 600°C , 800°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง)	45
รูปที่ 2.38 FTIR สเปกตรัม ของ CuFe_2O_4 (pH 7–12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง)	46
รูปที่ 2.39 FTIR สเปกตรัม ของ CuFe_2O_4 (pH 9, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 450°C , 600°C , 800°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง)	47
รูปที่ 2.40 FTIR สเปกตรัม ของ CuFe_2O_4 (pH 10, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 450°C , 600°C , 800°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง)	48
รูปที่ 2.41 FTIR สเปกตรัม ของ CuFe_2O_4 (pH 11, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 450°C , 600°C , 800°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง)	49
รูปที่ 2.42 FTIR สเปกตรัม ของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 450°C , 600°C , 800°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง)	50
รูปที่ 2.43 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 12 , solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง)	51
รูปที่ 2.44 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 12 , solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 450°C เวลา 3 ชั่วโมง)	52
รูปที่ 2.45 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 12 , solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 600°C เวลา 3 ชั่วโมง)	53

รูปที่ 2.46 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 12 , solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 800°C เวลา 3 ชั่วโมง)	54
รูปที่ 2.47 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง)	55
รูปที่ 2.48 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 450°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง)	56
รูปที่ 2.49 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 800°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง)	57
รูปที่ 2.50 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 7, 8,10,12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง)	62
รูปที่ 2.51 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 7,8,10,12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง นำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ 450°C เวลา 3 ชั่วโมง)	63
รูปที่ 2.52 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง นำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ 300°C , 450°C , 600°C และ 800°C เวลา 3 ชั่วโมง)	64
รูปที่ 2.53 FTIR สเปกตรัม ของ CuFe_2O_4 (pH 7, 8, 10, 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง)	65
รูปที่ 2.54 FTIR สเปกตรัม ของ CuFe_2O_4 (pH 7, 8, 10, 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง นำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ 450°C เวลา 3 ชั่วโมง)	65
รูปที่ 2.55 FTIR สเปกตรัม ของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง นำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ 300°C , 450°C , 600°C และ 800°C เวลา 3 ชั่วโมง)	66
รูปที่ 2.56 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 8, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C , 24 ชั่วโมง)	67
รูปที่ 2.57 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 8, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C , 24 ชั่วโมง นำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ 450°C เวลา 3 ชั่วโมง)	68
รูปที่ 2.58 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 10, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C , 24 ชั่วโมง)	68
รูปที่ 2.59 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 10, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C , 24 ชั่วโมง นำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ 450°C เวลา 3 ชั่วโมง)	69
รูปที่ 2.60 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C , 24 ชั่วโมง)	69
รูปที่ 2.61 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C , 24 ชั่วโมง นำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ 300°C เวลา 3 ชั่วโมง)	70

รูปที่ 2.62 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C , 24 ชั่วโมง นำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ 450°C เวลา 3 ชั่วโมง)	70
รูปที่ 2.63 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C , 24 ชั่วโมง นำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ 600°C เวลา 3 ชั่วโมง)	71
รูปที่ 2.64 ภาพ SEM ของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C , 24 ชั่วโมง นำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ 800°C เวลา 3 ชั่วโมง)	71
รูปที่ 2.65 (a) และ (b) ภาพ TEM และ (c) SAED ของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C , 24 ชั่วโมง)	72
รูปที่ 2.66 (a) และ (b) ภาพ TEM และ (c) SAED ของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C , 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่อุณหภูมิ 450°C เวลา 3 ชั่วโมง)	73
รูปที่ 2.67 (a) และ (b) ภาพ TEM และ (c) SAED ของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C , 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่อุณหภูมิ 800°C เวลา 3 ชั่วโมง)	74
รูปที่ 2.68 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง)	75
รูปที่ 2.69 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 450°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง)	76
รูปที่ 2.70 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (pH 12, solvothermal ที่อุณหภูมิ 180°C 24 ชั่วโมง และ calcine ต่อที่ 800°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง)	77
รูปที่ 2.71 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี microwave-hydrothermal ที่ 150°C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W)	79
รูปที่ 2.72 XRD pattern ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดย microwave-hydrothermal ที่ 150°C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) แล้วนำไป calcine ต่อ ที่อุณหภูมิ 450°C เวลา 1 ชั่วโมง	80
รูปที่ 2.73 FTIR สเปกตรัมของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี microwave-hydrothermal ที่ 150°C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W)	81
รูปที่ 2.74 FTIR สเปกตรัมของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี microwave-hydrothermal ที่ 150°C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) แล้วนำไป calcine ต่อ ที่อุณหภูมิ 450°C เวลา 1 ชั่วโมง	82
รูปที่ 2.75 ภาพ TEM และ SAED ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี microwave-hydrothermal ที่ 150°C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) pH6	83

รูปที่ 2.76 ภาพ TEM และ SAED ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี microwave-hydrothermal ที่ 150 °C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) pH8	84
รูปที่ 2.77 ภาพ TEM และ SAED ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี microwave-hydrothermal ที่ 150 °C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) pH10	85
รูปที่ 2.78 ภาพ TEM และ SAED ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี microwave-hydrothermal ที่ 150 °C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) pH12	86
รูปที่ 2.79 ภาพ TEM และ SAED ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี microwave-hydrothermal ที่ 150 °C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) pH6 แล้วนำไป calcine ต่อที่ อุณหภูมิ 450 °C เวลา 1 ชั่วโมง	87
รูปที่ 2.80 ภาพ TEM และ SAED ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี microwave-hydrothermal ที่ 150 °C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) pH8 แล้วนำไป calcine ต่อที่ อุณหภูมิ 450 °C เวลา 1 ชั่วโมง	88
รูปที่ 2.81 ภาพ TEM และ SAED ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี microwave-hydrothermal ที่ 150 °C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) pH10 แล้วนำไป calcine ต่อที่ อุณหภูมิ 450 °C เวลา 1 ชั่วโมง	89
รูปที่ 2.82 ภาพ TEM และ SAED ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี microwave-hydrothermal ที่ 150 °C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) pH12 แล้วนำไป calcine ต่อที่ อุณหภูมิ 450 °C เวลา 1 ชั่วโมง	90
รูปที่ 2.83 ภาพการกระจายขนาดของอนุภาค ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดย microwave-hydrothermal ที่ 150 °C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) pH6	91
รูปที่ 2.84 ภาพการกระจายขนาดของอนุภาค ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดย microwave-hydrothermal ที่ 150 °C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) pH8	91
รูปที่ 2.85 ภาพการกระจายขนาดของอนุภาค ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดย microwave-hydrothermal ที่ 150 °C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) pH10	92
รูปที่ 2.86 ภาพการกระจายขนาดของอนุภาค ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดย microwave-hydrothermal ที่ 150 °C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) pH12	92
รูปที่ 2.87 ภาพการกระจายขนาดของอนุภาค ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดย microwave-hydrothermal ที่ 150 °C เวลา 1 ชั่วโมง (0-100% ที่ 300 W) pH6 แล้วนำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ 450 °C เวลา 1 ชั่วโมง	93

รูปที่ 2.88 ภาพการกระจายขนาดของอนุภาค ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดย microwave–hydrothermal ที่ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 1 ชั่วโมง (0–100% ที่ 300 W) pH8 แล้วนำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 1 ชั่วโมง	93
รูปที่ 2.89 ภาพการกระจายขนาดของอนุภาค ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดย microwave–hydrothermal ที่ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 1 ชั่วโมง (0–100% ที่ 300 W) pH10 แล้วนำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 1 ชั่วโมง	94
รูปที่ 2.90 ภาพการกระจายขนาดของอนุภาค ของ CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดย microwave–hydrothermal ที่ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 1 ชั่วโมง (0–100% ที่ 300 W) pH12 แล้วนำไป calcine ต่อที่อุณหภูมิ $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 1 ชั่วโมง	94
รูปที่ 2.91 ขนาดของอนุภาค CuFe_2O_4 ที่สังเคราะห์โดยวิธี microwave – hydrothermal ที่ pH ต่าง ๆ จากสมการ Scherrer's equation (a) ก่อน calcine (b) หลัง calcine และจากภาพ TEM (c) ก่อน calcine (d) หลัง calcine	92
รูปที่ 2.92 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (ก่อน calcine)	96
รูปที่ 2.93 สมบัติแม่เหล็กของ CuFe_2O_4 (หลัง calcine) (C = calcine)	97