

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพประกอบ	ท
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ทฤษฎีการดูดซับ	2
1.1.1 การดูดซับบนพื้นผิวของของแข็ง	2
1.1.1.1 การดูดซับทางเคมี	2
1.1.1.2 การดูดซับทางกายภาพ	3
1.1.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับ	3
1.1.2.1 ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์	4
1.1.2.2 ไอโซเทอร์มแบบฟรอยด์ลิค	5
1.1.2.3 สมการบริวเนสเตอร์ – เฮมเมทท์ – เทลเลอร์	5
1.1.3 ความร้อนของการดูดซับ	7
1.2 โลหะทรานสิชันบางตัวและไตรเอทิลีนไดอะมีน	7
1.2.1 ทองแดง	7
1.2.2 โครเมียม	8
1.2.3 เงิน	9
1.2.4 ไตรเอทิลีนไดอะมีน	9
1.3 สารประกอบเชิงซ้อน	11
1.3.1 ความหมายของเทอมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบเชิงซ้อน	11
1.3.2 สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทรานสิชันบางตัวกับไตรเอทิลีนไดอะมีน	11

1.4 ถ่านกัมมันต์	11
1.4.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์	12
1.4.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์	12
1.4.2.1 การกำจัดน้ำออก	12
1.4.2.2 การเผาให้เป็นถ่าน	12
1.4.2.3 การกระตุ้นเพื่อทำถ่านกัมมันต์	12
1.4.3 การนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์	13
1.4.3.1 ชนิดผงถ่านละเอียด	13
1.4.3.2 ชนิดเป็นเม็ดหรือเกล็ด	13
1.4.4 การเคลือบผิวถ่านกัมมันต์	13
1.5 อัลตราไวโอเลตและวิลลิเบิลสเปกโทรสโกปี	15
1.5.1 หลักการและเทคนิค	15
1.5.2 องค์ประกอบของเครื่องมือ	16
1.5.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยเทคนิคยูวี-วิลลิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี	17
1.6 อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี	17
1.6.1 หลักการและเทคนิค	17
1.6.2 องค์ประกอบของเครื่องมือ	18
1.6.3 กระบวนการทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมเสรีในเปลวไฟ	18
1.7 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	19
บทที่ 2 การทดลอง	20
2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี	20
2.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	20
2.1.2 สารเคมี	20
2.2 การเตรียมสารละลาย	21
2.2.1 การเตรียมสารละลาย Cu^{2+} เข้มข้น 0.100 M	21
2.2.2 การเตรียมสารละลาย Cr^{3+} เข้มข้น 0.100 M	21
2.2.3 การเตรียมสารละลาย Ag^+ เข้มข้น 0.010 M	22

2.2.4 การเตรียมสารละลาย TEDA เข้มข้น 0.200 M	22
2.2.5 การเตรียมสารละลายกรดอะซีติก เข้มข้น 0.10 M	22
2.2.6 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4	22
2.2.7 การเตรียมสารละลายกรดไนตริก 20%	22
2.3 การเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนของโลหะกับไตรเอทิลีนไดอะมีน	22
2.3.1 การเตรียมสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA	22
2.3.2 การเตรียมสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA	23
2.3.3 การเตรียมสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Ag^{+} - TEDA	24
2.4 การหาความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) ของสารประกอบเชิงซ้อน	25
2.4.1 สารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA	25
2.4.2 สารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA	25
2.4.3 สารประกอบเชิงซ้อน Ag^{+} - TEDA	26
2.5 การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับ	26
2.5.1 การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA	26
2.5.2 การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA	26
2.5.3 การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับสารประกอบเชิงซ้อน Ag^{+} - TEDA	26
2.6 การล้างถ่านกัมมันต์	26
2.7 การหาปริมาณการดูดซับของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนโลหะกับไตรเอทิลีนไดอะมีน	26
2.7.1 สารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA	26
2.7.2 สารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA	27
2.7.3 สารประกอบเชิงซ้อน Ag^{+} - TEDA	27
2.8 ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อนบนถ่านกัมมันต์	27
2.9 การเคลือบผิวถ่านกัมมันต์ด้วยไอออนโลหะผสมของ Cu^{2+} , Cr^{3+} และ Ag^{+} กับ TEDA	27
2.9.1 การเตรียมสารละลายของไอออนโลหะผสมกับ TEDA	27
2.9.1.1 การเตรียมสารละลายของไอออนโลหะผสมระหว่าง Cu^{2+} , Cr^{3+} และ Ag^{+} กับ TEDA ที่มีร้อยละการเคลือบผิวต่ำสุดสำหรับเคลือบผิวถ่านกัมมันต์ 1.00 กรัม และ 10.00 กรัม	28

2.9.1.2 การเตรียมสารละลายของไอออนโลหะผสมระหว่าง Cu^{2+} , Cr^{3+} และ Ag^+ กับ TEDA ที่มีร้อยละการเคลือบผิวสูงสุดสำหรับเคลือบผิวถ่านกัมมันต์ 1.00 กรัม และ 10.00 กรัม	29
2.9.2 การสร้างกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเทคนิค AAS	30
2.9.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Cu^{2+}	30
2.9.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Cr^{3+}	30
2.9.2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Ag^+	30
2.9.3 วิธีการเคลือบผิวถ่านกัมมันต์	30
2.9.3.1 การเคลือบผิวถ่านกัมมันต์โดยวิธีการดูดซับโดยตรง	30
2.9.3.2 การเคลือบผิวถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีระเหยตัวทำละลาย	31

บทที่ 3 ผลการทดลอง

3.1 การหาความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) และการสร้างกราฟมาตรฐานการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนโลหะกับไตรเอทิลีนไดอะมีน	33
3.1.1 สารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA	33
3.1.2 สารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA	39
3.1.3 สารประกอบเชิงซ้อน Ag^+ - TEDA	42
3.2 การหาปริมาณการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนของโลหะกับไตรเอทิลีนไดอะมีนบนถ่านกัมมันต์	45
3.2.1 สารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA	45
3.2.2 สารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA	53
3.2.3 สารประกอบเชิงซ้อน Ag^+ - TEDA	59
3.3 ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อนไอออนโลหะกับไตรเอทิลีนไดอะมีนบนถ่านกัมมันต์	64
3.3.1 การหาปริมาณการดูดซับของสารประกอบเชิงซ้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ	64
3.3.2 การหาค่าความร้อนของการดูดซับของสารประกอบเชิงซ้อน	66

ญ

3.4 ผลการเคลือบผิวถ่านกัมมันต์ด้วยไอออนโลหะผสมทุกตัวกับไตรเอทิลีนไดอะมีน	69
3.4.1 สเปกตรัมสารละลายไอออนโลหะผสมกับไตรเอทิลีนไดอะมีน	69
3.4.2 กราฟมาตรฐานของโลหะในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS	69
3.4.2.1 กราฟมาตรฐานของ Cu^{2+}	72
3.4.2.2 กราฟมาตรฐานของ Cr^{3+}	72
3.4.2.3 กราฟมาตรฐานของ Ag^+	74
3.4.3 การหาปริมาณโลหะที่เคลือบผิวถ่านกัมมันต์โดยวิธีการดูดซับโดยตรง	75
3.4.4 การหาปริมาณโลหะที่เคลือบผิวถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย	77
บทที่ 4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	83
4.1 การเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนและการหาค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสม	83
4.2 การหาปริมาณการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อนบนถ่านกัมมันต์	84
4.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อนบนถ่านกัมมันต์	88
4.4 การเคลือบผิวถ่านกัมมันต์ด้วยไอออนโลหะผสมกับไตรเอทิลีนไดอะมีน	89
เอกสารอ้างอิง	92
ภาคผนวก	96
ประวัติผู้เขียน	101

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 การเปรียบเทียบการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ	3
1.2 ปริมาณไอออนโลหะและ TEDA ที่มีอยู่ในถ่านกัมมันต์เคลือบผิวใน หน้ากากป้องกันแก๊สพิษทางทหาร แบ่งตามร้อยละต่ำสุดและสูงสุด	15
2.1 การเตรียมสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA	23
2.2 การเตรียมสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA	24
2.3 การเตรียมสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Ag^+ - TEDA	25
2.4 ร้อยละและจำนวนโมลการเคลือบผิวต่ำสุดและสูงสุดบนถ่านกัมมันต์ ในหน้ากากป้องกันแก๊สพิษทางทหาร	28
2.5 การเตรียมสารละลายผสมของ Cu^{2+} , Cr^{3+} และ Ag^+ กับ TEDA ที่มีร้อยละ การเคลือบผิวต่ำสุดเพื่อเคลือบผิวถ่านกัมมันต์ 1.00 กรัม และ 10.00 กรัม	29
2.6 การเตรียมสารละลายผสมของ Cu^{2+} , Cr^{3+} และ Ag^+ กับ TEDA ที่มีร้อยละ การเคลือบผิวสูงสุดเพื่อเคลือบผิวถ่านกัมมันต์ 1.00 กรัม และ 10.00 กรัม	29
3.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (ที่ความยาวคลื่น 285 nm)	36
3.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (ที่ความยาวคลื่น 770 nm)	37
3.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่น 570 nm	41
3.4 ค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน Ag^+ - TEDA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่น 210 nm	44
3.5 ค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ก่อนและหลังเติมถ่านกัมมันต์ 0.1 กรัม (ที่ความยาวคลื่น 285 nm)	46
3.6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ก่อนและหลังเติมถ่านกัมมันต์ 0.1 กรัม (ที่ความยาวคลื่น 770 nm)	47

ตาราง	หน้า
3.7 จำนวนโมลของสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ที่ความยาวคลื่น 285 และ 770 nm	48
3.8 ค่าแรงเมียร์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการดูดซับการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA บนถ่านกัมมันต์ (ที่ความยาวคลื่น 285 nm และ 770 nm)	50
3.9 ค่าฟรอยด์ลิคพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการดูดซับการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA บนถ่านกัมมันต์ (ที่ความยาวคลื่น 285 nm และ 770 nm)	52
3.10 ค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ก่อนและหลังเติมถ่านกัมมันต์ 0.1 กรัม ที่ความยาวคลื่น 570 nm	54
3.11 ผลต่างค่าการดูดกลืนแสงก่อนและหลังเติมถ่านกัมมันต์และจำนวนโมลของสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ที่ความยาวคลื่น 570 nm	55
3.12 ค่าแรงเมียร์และฟรอยด์ลิคพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการดูดซับการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA บนถ่านกัมมันต์	57
3.13 ค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน Ag^{+} - TEDA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ก่อนและหลังเติมถ่านกัมมันต์ 0.1 กรัม ที่ความยาวคลื่น 210 nm	59
3.14 ผลต่างค่าการดูดกลืนแสงก่อนและหลังเติมถ่านกัมมันต์และจำนวนโมลของสารประกอบเชิงซ้อน Ag^{+} - TEDA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ที่ความยาวคลื่น 210 nm	60
3.15 ค่าแรงเมียร์และฟรอยด์ลิคพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการดูดซับการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน Ag^{+} - TEDA บนถ่านกัมมันต์	62
3.16 จำนวนโมลของสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA ที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	64
3.17 จำนวนโมลของสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA ที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	65
3.18 จำนวนโมลของสารประกอบเชิงซ้อน Ag^{+} - TEDA ที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	65

3.19 ค่าลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มข้นสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA, Cr^{3+} - TEDA และ Ag^+ - TEDA ที่เหลือจากการดูดซับที่อุณหภูมิต่าง ๆ [ln C] และส่วนกลับของอุณหภูมิสมบูรณ์	67
3.20 เปรียบเทียบปริมาณและไอโซเทอร์มการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA, Cr^{3+} - TEDA และ Ag^+ - TEDA	69
3.21 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Cu^{2+} มาตรฐานที่ความยาวคลื่น 324.8 nm	72
3.22 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Cr^{3+} มาตรฐานที่ความยาวคลื่น 357.9 nm	73
3.23 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Ag^+ มาตรฐานที่ความยาวคลื่น 328.1 nm	74
3.24 ค่าการดูดกลืนแสงของ Cu^{2+} , Cr^{3+} และ Ag^+ ก่อนและหลังการดูดซับของการทดลองชุดที่ 1	75
3.25 ผลต่างค่าการดูดกลืนแสง, ความเข้มข้น, จำนวนโมลและร้อยละของโลหะที่เคลือบผิวผ่านกัมมันต์ ของการทดลองชุดที่ 1	76
3.26 ค่าการดูดกลืนแสงของ Cu^{2+} , Cr^{3+} และ Ag^+ ก่อนและหลังดูดซับของการทดลองชุดที่ 2	76
3.27 ผลต่างค่าการดูดกลืนแสง, ความเข้มข้น, จำนวนโมลและร้อยละของโลหะที่เคลือบผิวผ่านกัมมันต์ ของการทดลองชุดที่ 2	77
3.28 ค่าการดูดกลืนแสงของไอออนโลหะ Cu^{2+} , Cr^{3+} และ Ag^+ ที่สกัดจากผ่านกัมมันต์เคลือบผิวโดยวิธีระเหยตัวทำละลายของการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2	78
3.29 ค่าการดูดกลืนแสง, ความเข้มข้น, จำนวนโมลและร้อยละของโลหะที่เคลือบผิวผ่านกัมมันต์ของการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2	78
3.30 ค่าการดูดกลืนแสง, ความเข้มข้น, จำนวนโมลที่เหลือจากการเคลือบผิวผ่านกัมมันต์โดยวิธีระเหยตัวทำละลายของการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2	79
3.31 เปรียบเทียบร้อยละโดยมวลของโลหะที่เคลือบผิวผ่านกัมมันต์โดยวิธีการดูดซับโดยตรงกับวิธีระเหยตัวทำละลาย ในการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2	79
3.32 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเคลือบผิวในเทอมของร้อยละโดยวิธีดูดซับโดยตรงกับวิธีการระเหยตัวทำละลายโดยคิดจากปริมาณไอออนโลหะที่ใส่เข้าไปและปริมาณที่เคลือบผิวอยู่จริง ของการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2	80

สารบัญภาพประกอบ

รูป	หน้า
1.1 ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ในการดูดซับแก๊ส CO ₂ บนซิลิกาเจลที่อุณหภูมิ 75 °C	6
1.2 ไอโซเทอร์มแบบฟรอยด์ลิคในการดูดซับกรดอะซิติกบนถ่านกัมมันต์	6
1.3 สูตรโครงสร้างของไตรเอทิลีนไดอะมีน (ทีอีดีเอ)	10
1.4 ปฏิกิริยาการเตรียมไตรเอทิลีนไดอะมีน	10
1.5 การเกิดอันตรกิริยาของแสงกับสารเคมี ในเทคนิค UV – VIS spectrophotometry	16
3.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Cu ²⁺ - TEDA เปรียบเทียบกับสารละลายไอออนของโลหะ Cu ²⁺ และสารละลาย TEDA ในช่วงความยาวคลื่น 200 – 900 nm	33
3.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Cu ²⁺ - TEDA เปรียบเทียบกับสารละลายไอออนของโลหะ Cu ²⁺ ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 900 nm	34
3.3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Cu ²⁺ - TEDA ความเข้มข้น 1.00 – 12.00 mM ในช่วงความยาวคลื่น 200 – 400 nm โดยเรียงลำดับความเข้มข้นน้อยถึงมากจากเส้นในสุดมายังเส้นนอกสุด	35
3.4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Cu ²⁺ - TEDA ความเข้มข้น 1.00 – 12.00 mM ในช่วงความยาวคลื่น 500 – 900 nm โดยเรียงลำดับความเข้มข้นน้อยถึงมากจากเส้นในสุดมายังเส้นนอกสุด	35
3.5 กราฟมาตรฐานการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน Cu ²⁺ - TEDA (ที่ความยาวคลื่น 285 nm)	38
3.6 กราฟมาตรฐานการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน Cu ²⁺ - TEDA (ที่ความยาวคลื่น 770 nm)	38
3.7 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Cr ³⁺ - TEDA เปรียบเทียบกับสารละลายไอออนของโลหะ Cr ³⁺ ในช่วงความยาวคลื่น 300 – 800 nm	39

รูป	หน้า
3.8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA ความเข้มข้น 1.00 – 12.00 mM ในช่วงความยาวคลื่น 300 - 800 nm โดยเรียงลำดับความเข้มข้นน้อยถึงมากจากเส้นในสุดมายังเส้นนอกสุด	40
3.9 กราฟมาตรฐานการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA ที่ความยาวคลื่น 570 nm	42
3.10 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Ag^+ - TEDA เปรียบเทียบกับสารละลายไอออนของโลหะ Ag^+ และสารละลาย TEDA ในช่วงความยาวคลื่น 200 – 300 nm	43
3.11 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสารประกอบเชิงซ้อน Ag^+ - TEDA ความเข้มข้น 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 และ 5.00×10^{-5} M ในช่วงความยาวคลื่น 200 – 300 nm โดยเรียงลำดับความเข้มข้นน้อยถึงมากจากเส้นในสุดมายังเส้นนอกสุด	43
3.12 กราฟมาตรฐานการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน Ag^+ - TEDA ที่ความยาวคลื่น 210 nm	45
3.13 จำนวนโมลสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA ที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ (ที่ความยาวคลื่น 285 nm และ 770 nm)	49
3.14 Langmuir plot ของการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA บนถ่านกัมมันต์ (ที่ความยาวคลื่น 285 nm และ 770 nm)	49
3.15 Freundlich plot ของการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA บนถ่านกัมมันต์ (ที่ความยาวคลื่น 285 nm และ 770 nm)	53
3.16 จำนวนโมลสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA ที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์	56
3.17 Langmuir plot ของการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA บนถ่านกัมมันต์	58
3.18 Freundlich plot ของการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA บนถ่านกัมมันต์	58
3.19 จำนวนโมลสารประกอบเชิงซ้อน Ag^+ - TEDA ที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์	61
3.20 Langmuir plot ของการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน Ag^+ - TEDA บนถ่านกัมมันต์	63
3.21 Freundlich plot ของการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน Ag^+ - TEDA บนถ่านกัมมันต์	63

3.22	จำนวนโมลสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA, Cr^{3+} - TEDA และ Ag^+ - TEDA ที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	62
3.23	ค่าลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มข้นสารประกอบเชิงซ้อน Cu^{2+} - TEDA ที่เหลือจากการดูดซับที่อุณหภูมิต่าง ๆ $[\ln C]$ กับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ $[1/T]$	67
3.24	ค่าลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มข้นสารประกอบเชิงซ้อน Cr^{3+} - TEDA ที่เหลือจากการดูดซับที่อุณหภูมิต่าง ๆ $[\ln C]$ กับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ $[1/T]$	68
3.25	ค่าลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มข้นสารประกอบเชิงซ้อน Ag^+ - TEDA ที่เหลือจากการดูดซับที่อุณหภูมิต่าง ๆ $[\ln C]$ กับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ $[1/T]$	68
3.26	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายไอออนโลหะผสมของ Cu^{2+} , Cr^{3+} และ Ag^+ กับ TEDA ในช่วงความยาวคลื่น 190 – 820 nm	70
3.27	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายไอออนโลหะผสมของ Cu^{2+} , Cr^{3+} และ Ag^+ กับ TEDA เปรียบเทียบกับสารละลายผสมของไอออนโลหะ Cu^{2+} , Cr^{3+} และ Ag^+ กับ TEDA ในช่วงความยาวคลื่น 190 – 370 nm	71
3.28	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายไอออนโลหะผสมของ Cu^{2+} , Cr^{3+} กับ TEDA เปรียบเทียบกับสารละลายผสมของไอออนโลหะ Cu^{2+} , Cr^{3+} ในช่วงความยาวคลื่น 190 – 370 nm	71
3.29	กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ Cu^{2+} ที่ความยาวคลื่น 324.8 nm	72
3.30	กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ Cr^{3+} ที่ความยาวคลื่น 357.9 nm	73
3.31	กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ Ag^+ ที่ความยาวคลื่น 328.1 nm	74
3.32	เปรียบเทียบร้อยละของโลหะ Cu^{2+} , Cr^{3+} และ Ag^+ ที่เคลือบผิวถ่านกัมมันต์โดยวิธีการดูดซับโดยตรง กับวิธีระเหยตัวทำละลายของ การทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2	81
3.33	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเคลือบผิวของโลหะ Cu^{2+} , Cr^{3+} และ Ag^+ ที่เคลือบผิวถ่านกัมมันต์ในทอมของร้อยละ โดยวิธีการดูดซับโดยตรง กับวิธีระเหยตัวทำละลายของการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2	82

อักษรย่อและสัญลักษณ์

ml	= มิลลิลิตร (milliliter)
l	= ลิตร (liter)
nm	= นาโนเมตร (nanometer)
cm	= เซนติเมตร (centimeter)
ppm	= ส่วนในล้านส่วน หรือมิลลิกรัมต่อลิตร (part per million)
AAS	= อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy)
M	= โมลต่อลิตร (molarity)
MW	= น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight)
%	= ร้อยละ, เปอร์เซนต์ (percentage)
°C	= องศาเซลเซียส (degree celcius)
g	= กรัม (gram)
mol	= โมล (mole)
mmol	= มิลลิโมล (millimole)
μmol	= ไมโครโมล (micromole)
TEDA	= ไตรเอทิลีนไดอะมีน (triethylenediamine)
λ	= ความยาวคลื่น (wavelength)
$\lambda_{\max}$	= ความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (maximum absorption wavelength)
K	= เคลวิน (Kelvin)
kJ	= กิโลจูล (kilojoule)
Å	= 10^{-10} เมตร หรือแองสตรอม (angstrom)