

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
อักษรย่อ	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ประเภทของธาตุอาหารที่พืชต้องการ	1
1.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	3
1.2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของเอกซเรย์	3
1.2.2 การเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence)	4
1.2.3 การเกิดรังสีเอกซ์ (generation of X-ray)	7
1.2.4 แอ็บซอร์พชันเอดจ์ (absorption edge)	9
1.2.5 ความเข้มรังสีเอกซ์	13
1.2.6 การคำนวณปริมาณธาตุ	16
1.2.7 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนเชิงมวลรวม (χ_p)	17
1.2.8 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนเชิงมวลรวม (χ_p)	17
1.2.9 ความหนาวิกฤตของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์โดย วิธีการวาวรังสีเอกซ์	19
1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย	20
บทที่ 2 การทดลอง	21
2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี	21
2.1.1 ตันกำเนิครังสี	21
2.1.2 ระบบตรวจวัดรังสี	21
2.1.3 เครื่องอัดเม็ดแบบไฮดรอลิกส์	22

	หน้า
2.1.4 สารเคมี	22
2.2 การจัดอุปกรณ์ในการทดลอง	22
2.3 วิธีทดลอง	23
2.3.1 การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อใช้ในการศึกษา	23
2.3.2 ศึกษาการเตรียมสารตัวอย่าง	25
2.3.3 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ	25
2.3.4 ศึกษาการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของธาตุในสารตัวอย่างและ การแก้ค่าการดูดกลืน	25
2.3.5 การตรวจสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์	29
2.3.6 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก ทองแดง สังกะสี และแมงกานีส ในตัวอย่างดิน	29
บทที่ 3 ผลการทดลอง	31
3.1 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ	31
3.2 ผลการศึกษาการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของธาตุในสารตัวอย่าง และการแก้ค่าการดูดกลืน	32
3.3 ผลการหาค่าความไวของการวิเคราะห์	45
3.4 ผลการตรวจสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์	47
3.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก ทองแดง สังกะสี และแมงกานีส ในตัวอย่างดิน	56
บทที่ 4 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง	57
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความหนาแน่นเชิงมวล ($\rho_m D$) ค่าสัมประสิทธิ์ การดูดกลืนเชิงมวลรวม (χ) ค่าแก้การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (F) และค่า ความเข้มรังสีเอ็กซ์ที่แก้การดูดกลืนแล้ว	64
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณของโลหะออกไซด์ในสารตัวอย่าง มาตรฐานผสมและปริมาณของธาตุเหล็ก ทองแดง สังกะสี และ แมงกานีส ที่มีอยู่ทั้งหมดในดินตัวอย่าง	67
ประวัติการศึกษา	72

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	พลังงานยืดหยุ่นของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส และพลังงาน รังสีเอ็กซ์เฉพาะตัว	5
2.1	ส่วนประกอบของตัวอย่างสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นเพื่อการศึกษา การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของธาตุเหล็ก	26
2.2	ส่วนประกอบของตัวอย่างสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นเพื่อการศึกษา การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของธาตุทองแดง	26
2.3	ส่วนประกอบของตัวอย่างสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นเพื่อการศึกษา การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของธาตุสังกะสี	27
2.4	ส่วนประกอบของตัวอย่างสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นเพื่อการศึกษา การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของธาตุแมงกานีส	27
2.5	ส่วนประกอบของตัวอย่างดินที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุเหล็ก ทองแดง สังกะสี และแมงกานีส	30
3.1	พลังงาน ชนิดของรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัว และพื้นที่ใต้พีค จากการกระตุ้น ของธาตุที่สนใจ	32
3.2	ส่วนประกอบ และค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ของธาตุเหล็ก	32
3.3	ส่วนประกอบและค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ของธาตุทองแดง	33
3.4	ส่วนประกอบและค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ของธาตุสังกะสี	33
3.5	ส่วนประกอบและค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ของธาตุแมงกานีส	33
3.6 ก.	ค่าความหนาเชิงมวล (ρ_D) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน เชิงมวลรวม (χ) ของตัวอย่างสารมาตรฐานของเหล็ก	37
3.6 ข.	ค่าความหนาเชิงมวล (ρ_D) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลรวม (χ) ของตัวอย่างสารมาตรฐานของเหล็ก หลังการเจือจางตัวอย่าง	37
3.7 ก.	ค่าความเข้มรังสีเอ็กซ์ (I) ค่าแก้การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (F) ของตัวอย่างเหล็ก และความเข้มรังสีที่ถูกต้อง (I corr)	37

3.7 ข.	ค่าความเข้มรังสีเอ็กซ์ของเหล็ก (I_{dil}) ค่าแก้การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (F) ของตัวอย่างเหล็ก และความเข้มรังสีที่ถูกต้อง ($I_{\text{dil, corr}}$) หลังการเจือจางตัวอย่าง	38
3.8 ก.	ค่าความหนาเชิงมวล ($\rho_m D$) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลรวม (X) ของตัวอย่างสารมาตรฐานของทองแดง	38
3.8 ข.	ค่าความหนาเชิงมวล ($\rho_m D$) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลรวม (X) ของตัวอย่างสารมาตรฐานของทองแดง หลังการเจือจางตัวอย่าง	39
3.9 ก.	ค่าความเข้มรังสีเอ็กซ์ (I) ค่าแก้การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (F) ของตัวอย่างทองแดง และความเข้มรังสีที่ถูกต้อง (I_{corr})	39
3.9 ข.	ค่าความเข้มรังสีเอ็กซ์ของทองแดง (I_{dil}) ค่าแก้การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (F) ของตัวอย่างทองแดง และความเข้มรังสีที่ถูกต้อง ($I_{\text{dil, corr}}$) หลังการเจือจางตัวอย่าง	39
3.10 ก.	ค่าความหนาเชิงมวล ($\rho_m D$) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลรวม (X) ของตัวอย่างสารมาตรฐานของสังกะสี	40
3.10 ข.	ค่าความหนาเชิงมวล ($\rho_m D$) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลรวม (X) ของตัวอย่างสารมาตรฐานของสังกะสี หลังการเจือจางตัวอย่าง	40
3.11 ก.	ค่าความเข้มรังสีเอ็กซ์ (I) ค่าแก้การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (F) ของตัวอย่างสังกะสี และความเข้มรังสีที่ถูกต้อง (I_{corr})	41
3.11 ข.	ค่าความเข้มรังสีเอ็กซ์ของสังกะสี (I_{dil}) ค่าแก้การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (F) ของตัวอย่างสังกะสี และความเข้มรังสีที่ถูกต้อง ($I_{\text{dil, corr}}$) หลังการเจือจางตัวอย่าง	41
3.12 ก.	ค่าความหนาเชิงมวล ($\rho_m D$) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลรวม (X) ของสารมาตรฐานของแมงกานีส	42
3.12 ข.	ค่าความหนาเชิงมวล ($\rho_m D$) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลรวม (X) ของสารมาตรฐานของแมงกานีส หลังการเจือจางตัวอย่าง	42
3.13 ก.	ค่าความเข้มรังสีเอ็กซ์ (I) ค่าแก้การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (F) ของตัวอย่างแมงกานีส และความเข้มรังสีที่ถูกต้อง (I_{corr})	42

3.13 ข.	ค่าความเข้มรังสีเอ็กซ์ของแมงกานีส (I dil) ค่าแก้การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (F) ของตัวอย่างแมงกานีส และความเข้มรังสีที่ถูกต้อง I dil, corr หลังการเจือจางตัวอย่าง	43
3.14	ค่า S ของการวิเคราะห์ธาตุเหล็ก เมื่อวัดความเข้มของรังสีเอ็กซ์ (I) จากการกระตุ้นของต้นกำเนิด Pu-238	45
3.15	ค่า S ของการวิเคราะห์ธาตุทองแดง เมื่อวัดความเข้มของรังสีเอ็กซ์ (I) จากการกระตุ้นของต้นกำเนิด Pu-238	46
3.16	ค่า S ของการวิเคราะห์ธาตุสังกะสี เมื่อวัดความเข้มของรังสีเอ็กซ์ (I) จากการกระตุ้นของต้นกำเนิด Pu-238	46
3.17	ค่า S ของการวิเคราะห์ธาตุแมงกานีส เมื่อวัดความเข้มของรังสีเอ็กซ์ (I) จากการกระตุ้นของต้นกำเนิด Pu-238	47
3.18	ส่วนประกอบ ค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ I (Fe K_{α}) ความหนาเชิงมวล (ρ_{mD}) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลรวม (χ) เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก	48
3.19	ค่าแก้การดูดกลืน (F) ค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่แก้การดูดกลืน (I corr) ของตัวอย่างเหล็กแล้ว รวมทั้งผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กจากกราฟความสัมพันธ์ก่อน-หลังการแก้การดูดกลืนและจากสูตร	48
3.20	ส่วนประกอบ ค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ I (Cu K_{α}) ความหนาเชิงมวล (ρ_{mD}) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลรวม (χ) เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณทองแดง	49
3.21	ค่าแก้การดูดกลืน (F) ค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่แก้การดูดกลืน (I corr) ของตัวอย่างทองแดง แล้วรวมทั้งผลการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงจากกราฟความสัมพันธ์ก่อน-หลัง การแก้การดูดกลืนและจากสูตร	49
3.22	ส่วนประกอบ ค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ I (Zn K_{α}) ความหนาเชิงมวล (ρ_{mD}) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลรวม (χ) เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี	50

3.23	ค่าแก้การดูดกลืน (F) ค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่แก้การดูดกลืน (I corr) ของตัวอย่างสังกะสีแล้ว รวมทั้งผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีจากกราฟ ความสัมพันธ์ก่อน-หลัง การแก้การดูดกลืน และจากสูตร	50
3.24	ส่วนประกอบ ค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ I ($Mn K_{\alpha}$) ความหนาเชิงมวล ($\rho_m D$) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลรวม (χ) เพื่อตรวจสอบ ความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีส	51
3.25	ค่าแก้การดูดกลืน (F) ค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่แก้การดูดกลืน (I corr) ของตัวอย่างแมงกานีส แล้วรวมทั้งผลการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสจากกราฟ ก่อน - หลัง การแก้การดูดกลืน และจากสูตร	51
3.26	ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่างดิน	56
3.27	ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุรองแดงทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่างดิน	57
3.28	ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุสังกะสีทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่างดิน	57
3.29	ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแมงกานีสทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่างดิน	58

สารบัญภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	ชั้นพลังงานของอะตอม และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเมื่อเกิดที่ว่าง พร้อมทั้งชนิดของรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัวที่เกิดขึ้น	4
1.2	กระบวนการเกิดรังสีเอ็กซ์	7
1.3	ลักษณะแอมพลิจูดของพัลส์ของธาตุยูเรเนียม	9
1.4	ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของพัลส์กับเลขอะตอมของ K_{α} , L_{α} และ M_{α}	10
1.5	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนขนาดพลังงาน 15 keV และ 30 keV ของธาตุที่มี K_{α} ระหว่าง 2-15 keV	11
1.6	แผนภาพแสดงการเกิด โอเจ เอฟเฟกต์	12
1.7	ลักษณะการกระตุ้นตัวอย่างและการเกิดรังสีเอ็กซ์ของธาตุ	13
1.8	การจัดตัวอย่างและเป่า ในการวัดรังสีเอ็กซ์ของธาตุเพื่อหาค่าแก้ การดูดกลืนโดยวิธี E-T method	18
2.1	แผนผังการจัดเครื่องมือในการวัดรังสีเอ็กซ์	22
2.2	การจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ในการทดลองที่เหมาะสม	23
2.3	การเก็บตัวอย่างดิน	24
3.1	สเปกตรัมรังสีเอ็กซ์ของธาตุในสารตัวอย่าง จากการกระตุ้นด้วย ดันกานีต Pu-238	31
3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีเอ็กซ์ของเหล็ก ที่ 6.399 keV ที่วัดได้ กับ % Fe_2O_3 ในตัวอย่างสารมาตรฐาน	34
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีเอ็กซ์ของทองแดง ที่ 8.041 keV ที่วัดได้กับ % CuO ในตัวอย่างสารมาตรฐาน	34
3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีเอ็กซ์ของสังกะสี ที่ 8.631 keV ที่วัดได้กับ % ZnO ในตัวอย่างสารมาตรฐาน	35
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีเอ็กซ์ของแมงกานีส ที่ 5.895 keV ที่วัดได้กับ % MnO_2 ในตัวอย่างสารมาตรฐาน	35

รูปที่		หน้า
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีเอ็กซ์ของเหล็ก ที่ 6.399 keV ที่ แก่การดูดกลืนแล้วกับ % Fe_2O_3 ในตัวอย่างสารมาตรฐาน	43
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีเอ็กซ์ของทองแดง ที่ 8.041 keV ที่ แก่การดูดกลืนแล้วกับ % CuO ในตัวอย่างสารมาตรฐาน	44
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีเอ็กซ์ของสังกะสี ที่ 8.631 keV ที่ แก่การดูดกลืนแล้วกับ % ZnO ในตัวอย่างสารมาตรฐาน	44
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีเอ็กซ์ของแมงกานีส ที่ 5.895 keV ที่ แก่การดูดกลืนแล้วกับ % MnO_2 ในตัวอย่างสารมาตรฐาน	45
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอ็กซ์ (I) ที่ 6.399 keV ที่วัดได้ ก่อนแก่ การดูดกลืนกับ % Fe_2O_3 ในตัวอย่างสารมาตรฐานผสม	52
3.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอ็กซ์ (I corr) ที่ 6.399 keV ที่ แก่การดูดกลืนแล้วกับ % Fe_2O_3 ในตัวอย่างสารมาตรฐานผสม	52
3.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอ็กซ์ (I) ที่ 8.041 keV ที่วัดได้ ก่อนแก่ การดูดกลืนกับ % CuO ในตัวอย่างสารมาตรฐานผสม	53
3.13	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอ็กซ์ (I corr) ที่ 8.041 keV ที่แก่การดูดกลืนแล้วกับ % CuO ในตัวอย่างสารมาตรฐานผสม	53
3.14	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอ็กซ์ (I) ที่ 8.631 keV ที่วัดได้ ก่อนแก่การดูดกลืนกับ % ZnO ในตัวอย่างสารมาตรฐานผสม	54
3.15	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอ็กซ์ (I corr) ที่ 8.631 keV ที่แก่การดูดกลืนแล้วกับ % ZnO ในตัวอย่างสารมาตรฐานผสม	54
3.16	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอ็กซ์ (I) ที่ 5.895 keV ที่วัดได้ ก่อนแก่ การดูดกลืนกับ % MnO_2 ในตัวอย่างสารมาตรฐานผสม	55
3.17	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอ็กซ์ (I corr) ที่ 5.895 keV ที่แก่ การดูดกลืนแล้วกับ % MnO_2 ในตัวอย่างสารมาตรฐานผสม	55

อักษรย่อ

I_i	ความเข้มรังสีเอ็กซ์ของธาตุ i ที่ได้จากการวัดตัวอย่าง
I_i^{std}	ความเข้มรังสีเอ็กซ์ของธาตุ i ที่ได้จากการวัดเมื่อนำตัวอย่างมาบังเป้า (target)
I_i^0	ความเข้มรังสีเอ็กซ์ของธาตุ i เมื่อวัดเป้า (target) โดยตรง
χ	ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนเชิงมวลรวมสำหรับการวัดรังสีเอ็กซ์ของธาตุ
ρ_m^D	ความหนาแน่นเชิงมวลของตัวอย่าง
S_i	ค่าความไวของการวิเคราะห์ธาตุ i
F_i	ค่าแก้การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของธาตุ i ในตัวอย่าง
keV	kiloelectron volt
g	gram
cm ²	square centimeter
μm	micrometer
μg	microgram
cps	counts per second