

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ

##### 4.1.1 สีของดิน

สีของดินเป็นลักษณะที่เด่นชัดของดิน และมีความสำคัญ เพราะสีของดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน มีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศ สภาพการถูกชะล้าง และแร่ธาตุส่วนประกอบของดิน ปริมาณของสารประกอบของเหล็ก และปริมาณสารอินทรีย์มีผลอย่างมากต่อสีของดิน ฟอรัมของเหล็กที่มีอยู่แตกต่างกัน จะมีผลทำให้ดินมีสีต่าง ๆ กันได้ ตัวอย่างเช่น  $Fe_2O_3$  (ferric oxide) ทำให้ดินมีสีแดง  $Fe_2O_3 \cdot x H_2O$  (hydrated ferric oxide) ทำให้ดินมีสีน้ำตาลแกมเหลือง และถ้าดินมีสีดำก็อาจจะมาจากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน จึงมีการใช้สีของดินในการคาดเดาปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดินได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสีของดินและปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน\*

รหัสสี Munsell ของดินชั้น	เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์	
	ช่วง	เฉลี่ย
10YR2/1	3.5-7.0	5.0
10YR3/1	2.5-4.0	3.5
10YR3/2	2.0-3.0	2.5
10YR4/2	1.5-2.5	2.0
10YR5/3	1.0-2.0	1.5

\*หมายเหตุ จาก Soils & their environment (22), John J. Hassett and Wayne L. Banwart, 1992, New Jersey : Prentice Hall.

ตารางที่ 4.2 จะแสดงสีของดินแห่งตามระบบของ Munsell ซึ่งอธิบายสีในเทอมของตัวแปร 3 ตัว คือ hue, value และ chroma ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว และแสดงสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ด้วย

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ทางกายภาพของตัวอย่างดินที่เก็บจากตำแหน่งต่าง ๆ ในจังหวัดศรีสะเกษ

ตัวอย่าง	ตำแหน่งที่เก็บดินตัวอย่าง	สีของดินแห้ง	ปริมาณความชื้น (%)	แฟกเตอร์แก้ไขความชื้น (%)	มวลที่หายไปจากการเผา (LOI, %)
1	ตลาดเทศบาล	10YR5/1	1.42	1.01	7.26
2	ตลาดเทศบาล	10YR6/1	2.15	1.02	7.90
3	แอ่งน้ำบ้านยางกุด ตำบลหมากเจียบ อำเภอเมือง	10YR5/1	6.35	1.06	9.19
4	ทุ่งนาใกล้ทางน้ำ บ้านบ่อ ตำบลหนองเชียงทูน อำเภอปรางค์กู่	7.5YR8/3	4.36	1.04	9.98

ค่า chroma ที่สูงในรหัสสีของ Munsell จะบ่งถึงความสดใสของสี ดังนั้น ดินตัวอย่างที่ 4 ซึ่งมีค่า chroma 3 จึงมีสีสดใสมากกว่าตัวอย่างที่ 1, 2, 3 ซึ่งมีค่า chroma 1 เล็กน้อย สีที่สดใสมากกว่ายังบอกว่า ตัวอย่างที่ 4 น่าจะมีปริมาณเหล็กสูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ซึ่งพบว่าข้อสันนิษฐานนี้เป็นจริงเมื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในดินตัวอย่าง (ตารางที่ 4.4)

#### 4.1.2 ปริมาณความชื้นและแฟกเตอร์ที่ใช้แก้ไข

ดินตัวอย่างที่เก็บมานั้นจะมีน้ำอยู่ด้วย จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสมบัติของดิน และสภาวะอากาศก่อนหน้าที่จะเก็บดิน ภายหลังจากการผึ่งให้แห้งในอากาศแล้ว น้ำบางส่วนยังคงเหลืออยู่ในดิน ปริมาณของน้ำจะขึ้นกับผิวสัมผัสของดิน และสภาพความชื้นในอากาศภายในห้องที่ใช้ผึ่งดิน

จะหาปริมาณน้ำหรือความชื้นในดินได้โดยการอบดินตัวอย่างที่ 105°C ในตู้อบเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นคือมวลของน้ำที่หายไปหลังจากการอบที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าว โดยบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ของมวลดินแห้ง ปริมาณความชื้นที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่าง 1 และตัวอย่าง 2 ซึ่งเป็นดินที่ซื้อจากตลาดสดเทศบาลและถูกเก็บไว้เป็นเวลานานพอสมควร มีความชื้นน้อย (1.42% และ 2.15%) กว่าตัวอย่าง 3 (6.35%) และตัวอย่าง 4 (4.36%) ตัวอย่าง 3 ซึ่งเก็บมาจากบริเวณที่มีน้ำขังตลอดปีจะมีปริมาณความชื้นสูงสุด แฟกเตอร์ที่ใช้แก้ไขเกี่ยวกับความชื้นมีค่าตั้งแต่ 1.01% (ตัวอย่าง 1) ไปจนถึง 1.06% (ตัวอย่าง 3)

#### 4.1.3 มวลที่หายไปจากการเผา (L.O.I)

มวลที่หายไปจากการเผา คือมวลของน้ำ สารอินทรีย์ และสารอื่น ๆ ที่สลายตัวได้จากการเผาที่ 900°C ในเตาเผาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง บอกเป็นเปอร์เซ็นต์ของมวลดินที่นำมาเผา ดินที่มี

ปริมาณดินเหนียวและ hydrous oxide ของ Fe, Al อยู่ค่อนข้างมากนั้นจะสูญเสียไปในโครงสร้างไปในช่วงอุณหภูมิ 105°C-500°C ตัวอย่างเช่น goethite (FeOOH) เมื่อเสียน้ำไปจะเปลี่ยนเป็น hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ในช่วงอุณหภูมิ 280°C-400°C สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกกำจัดออกไปที่อุณหภูมิประมาณ 325°C แต่อาจมีการสลายตัวต่อไปได้อีกที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตจะเสีย CO<sub>2</sub> ไป และเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ ที่อุณหภูมิประมาณ 770°C ดังนั้น มวลที่หายไปจากการเผาหรือค่า L.O.I. จะเป็นค่าโดยประมาณของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดินทราย แต่ถ้าเป็นดินที่มีเนื้อหนักมากขึ้น ค่า L.O.I. อาจจะเป็นสองเท่าของปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่จริง ตารางที่ 4.2 แสดงค่า L.O.I. ของตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 7.26% (ตัวอย่าง 1) จนถึง 9.98% (ตัวอย่าง 4)

## 4.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี

### 4.2.1 ความเป็นกรด-เบสของดิน

ค่า pH ของดินนั้น ที่จริงแล้วคือค่า pH ของน้ำที่อยู่ในสมดุลกับสารละลายดินนั่นเอง ค่า pH ของดินมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการทางเคมีและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน มีแฟกเตอร์หลายอย่างที่มีสัมพันธ์กับค่า pH ของดิน เช่น วัสดุที่มาของดิน สภาพอากาศ พืชพรรณต่าง ๆ การใช้ปุ๋ยและสารกำจัดวัชพืชกับดิน (Radojevic and Bashkin, 1999) แต่ปกติแล้วดินจะมีค่า pH ในช่วง pH 4 (ดินซึ่งเป็นกรดสูง) ไปจนถึงค่า pH 10 (ดินซึ่งเป็นเบสสูง)

ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของดินตัวอย่างแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 พบว่า ดินตัวอย่างทั้งหมดมีสภาพเป็นกรดสูง ตั้งแต่ pH 4.30 (ตัวอย่าง 1) ไปจนถึง pH 4.95 (ตัวอย่าง 3) ความเป็นกรดสูงทำให้ดินไพกา (pica soil) พวกนี้มีรสเปรี้ยว ดินกรดซึ่งมี pH 4-5 จะมีความสามารถละลายเอาไอออนโลหะที่ละลายได้ รวมทั้งโลหะที่มีอันตราย เอาไว้ในดินได้ในปริมาณสูง คนที่กินดินอาจได้รับอันตรายจากโลหะเหล่านี้ได้ถ้ากินดินเข้าไปในจำนวนมาก และทำให้เกิดปัญหาทางสุขภาพได้ อย่างไรก็ตาม ทั้งสีและค่า pH ของดิน มีความสำคัญต่อคนกินดินบางกลุ่ม ตามที่นักวิจัยได้ค้นพบ เพราะค่า pH มีผลต่อรสชาติของดินที่กิน ถ้าเป็นกรด ดินจะมีรสเปรี้ยว และถ้าเป็นเบส ดินจะมีรสหวาน (Laufer, 1930 quoted in Abrahams and Parsons, 1997)

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ทางเคมีของดินไพกาจากจังหวัดศรีสะเกษ

ตัวอย่าง	pH	สารอินทรีย์ (%)	วิสัยสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cmol(+)/kg)
1	4.30	1.78	2.14
2	4.41	2.33	12.65
3	4.95	2.73	12.17
4	4.79	0.28	5.54

#### 4.2.2 ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน

ปริมาณสารอินทรีย์ในดินมีหน้าที่สำคัญในกระบวนการการเกิดดิน โดยเฉพาะเมื่อเกี่ยวข้องกับค่า pH ในระหว่างย่อยสลายสารอินทรีย์ จะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาณกรดคาร์บอนิกเพิ่มขึ้น ผลคือ ทำให้ค่า pH ของดินต่ำลง (Rodojevic and Bashkin, 1999) สารอินทรีย์ในดินจะมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) สูง โดยอาจมีค่าสูงได้ถึง  $800 \text{ m}^2/\text{g}$ - $900 \text{ m}^2/\text{g}$  ซึ่งทำให้วัสดุสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนหรือค่า CEC สูงได้ถึง  $150 \text{ cmol}/\text{kg}$  ถึง  $300 \text{ cmol}/\text{kg}$  วัสดุสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของพื้นผิวของดิน ส่วนใหญ่ก็มาจากสารอินทรีย์ในดินนั่นเอง จากการที่สารอินทรีย์มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและค่า CEC สูง สารอินทรีย์ในดินจึงเป็นตัวดูดซับไอออนต่าง ๆ รวมทั้งแคตไอออนของโลหะมีพิษ ตลอดจนสารอินทรีย์อันตราย เช่นสารกำจัดศัตรูพืช ซึ่งล้วนแต่เป็นอันตรายต่อผู้กินดิน ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณสารอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้จากดินไพกาทั้ง 4 ตัวอย่าง ซึ่งพบว่ามีปริมาณไม่สูงนัก คืออยู่ระหว่าง 0.28% (ตัวอย่าง 4) ถึง 2.73% (ตัวอย่าง 3) ผลการวิเคราะห์มีความใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ดินไพกาที่ Abrahams และ Parson (1997) ได้ทำการวิเคราะห์ไว้ คือตัวอย่างดินไพกาของเขามีปริมาณสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 0.2%-1.3%

#### 4.2.3 วัสดุสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ดินเหนียวและปุ๋ยในดินประกอบด้วยอนุภาคคอลลอยด์ที่มีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ และมีประจุไฟฟ้าอยู่บนพื้นผิวนั้น พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียวส่วนใหญ่จะมีประจุลบ ยกเว้นดินกรดในเขตร้อน ซึ่งอาจมีประจุบวก ดังเช่นดินไพกาจากจังหวัดศรีสะเกษที่ทำการวิเคราะห์ในครั้งนี้

ประจุที่พื้นผิวของอนุภาคดินมักจะถูกทำให้เป็นกลางด้วยไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต และไอออนซึ่งถูกจับยึดไว้บนพื้นผิวของอนุภาคคอลลอยด์ของดินนี้จะถูกแทนที่ด้วยไอออนต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสารละลายดินได้ กระบวนการแทนที่เช่นนี้คือกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งอาจจะเป็นการแลกเปลี่ยนแอนไอออนหรือแคตไอออนก็ได้ สำหรับวัสดุสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินนั้น หมายถึง วัสดุสามารถในการดูดซับและแลกเปลี่ยนแคตไอออน แรงไฟฟ้าสถิตจะทำให้พื้นผิวของอนุภาคดินจับยึดแคตไอออน  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  และจะมี  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  มากขึ้นถ้าเป็นดินกรด และมี  $\text{Na}^+$  เพิ่มขึ้นถ้าเป็นดินเค็ม

วัสดุสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน หรือ CEC จะบอกถึงปริมาณของแคตไอออนที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของอนุภาคดิน มีหน่วยเป็น milliequivalent ของประจุต่อน้ำหนักของดินแห้ง 100 กรัม ( $\text{meq}/100 \text{ g}$ ) หรือเป็น centimole ของประจุต่อดินแห้ง 1 กิโลกรัม ( $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ ) ผลการวิเคราะห์ค่า CEC แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 เช่นเดียวกัน และดินตัวอย่างมีค่า CEC ในช่วง  $2.14 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$  (ตัวอย่าง 1) ถึง  $12.65 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$  (ตัวอย่าง 2)

#### 4.2.4 ปริมาณธาตุในดินจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ชนิดกระจายคลื่น

ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในดินจะมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับธาตุองค์ประกอบของเปลือกโลก ธาตุที่มีมากในดิน 10 อันดับแรกในหน่วย g/kg ได้แก่ Si(282), Al(82), Fe(56), Ca(42), Na~K(24), Mg(20), Ti(5.7), P(1), Mn(0.95) ตามลำดับ (Ochiai, Ei-ichiro, 1979) ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในดินอาจเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศและกระบวนการทางชีวภาพ นอกจากนี้ ดินยังเป็นระบบเปิด ทำให้มีสารต่าง ๆ ถูกเติมลงในดินอย่างต่อเนื่อง ทั้งจากธรรมชาติและจากมนุษย์ นอกจากนี้ ฝนยังชะล้างเอาสารจำนวนมากออกไปจากดินด้วย

ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ว่า มีนักวิจัยหลายกลุ่มได้เสนอว่า พฤติกรรมการกินดิน อาจมีความสัมพันธ์อย่างแนบแน่นกับความต้องการสารอาหารหรือธาตุ การขาดแร่ธาตุอาจทำให้เกิดความอยากต่อสารที่ไม่ใช่อาหารเช่นดินได้ จึงน่าสนใจที่จะหาธาตุองค์ประกอบของดินไพกา ในการวิจัยได้ใช้เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ชนิดกระจายคลื่น WDXRF ในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของดินไพกา แต่ด้วยข้อจำกัดของสารอ้างอิงมาตรฐาน จะวิเคราะห์ธาตุเพียง 9 ชนิดเท่านั้น และใช้โปรแกรม Super Q ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุที่ปริมาณในรูปของออกไซด์ และตารางที่ 4.5 แสดงผลในรูปของธาตุ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของเหล็กและสังกะสีในตัวอย่างดินไพกา ไม่ได้สูงไปกว่าความเข้มข้นโดยทั่วไปของเหล็กและสังกะสีในดิน ซึ่งจะมีเหล็กอยู่ในช่วง 7000-550000 mg/kg และสังกะสีในช่วง 10-300 mg/kg (Hasset and Banwart, 1992)

ตารางที่ 4.4 ธาตุองค์ประกอบในดินไพกาในรูปของออกไซด์

ออกไซด์	ความเข้มข้น (mg/kg)			
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ตัวอย่าง 4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	95021	121449	155648	205769
BaO	3183	3311	3600	3119
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11033	10409	10516	27285
K <sub>2</sub> O	961	826	750	2475
MgO	ND	ND	ND	0.672
MnO	66	75	85	114
SiO <sub>2</sub>	558280	677078	675753	545251
TiO <sub>2</sub>	14320	14818	16200	13888
ZnO	60	64	64	74

ND = Not detected

ตารางที่ 4.5 ธาตุองค์ประกอบในดินไผกา

ธาตุ	ความเข้มข้น (mg/kg)			
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ตัวอย่าง 4
Al	50295	64282	82384	108914
Ba	2851	2965	3225	2794
Fe	7716	7280	7354	19038
K	791	685	623	2055
Mg	ND	ND	ND	405
Mn	51	58	65	88
Si	260930	316466	315800	254850
Ti	8584	8883	9712	8326
Zn	48	51	51	59

ND = Not detected

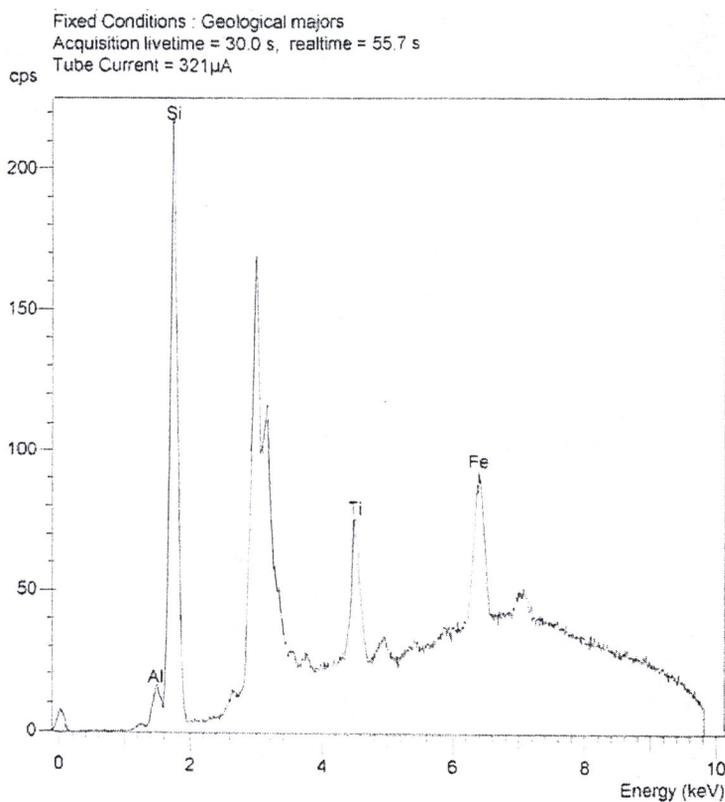
ตารางที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบช่วงความเข้มข้นของธาตุในดินไผกาจากศรีสะเกษกับดินไผกาจากงานวิจัยอื่น ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบของดินไผกามีความคล้ายกัน นั่นคือ มีธาตุหลักเป็น Al, Fe และ Si ส่วนธาตุที่มีปริมาณรองลงมาได้แก่ Ba, K, Ti และ Zn

เป็นที่ทราบกันดีว่า กระบวนการต่าง ๆ ที่สำคัญในร่างกาย ต้องการไอออนโลหะในการทำงานด้วย ธาตุหมู่หลัก (Na, K, Mg, Ca) และโลหะทรานซิชัน 10 ชนิด (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd) ล้วนมีบทบาทหน้าที่ในการทำให้ระบบทางชีวภาพของร่างกายดำเนินไปอย่างปกติ การขาดไอออนโลหะบางชนิดไปอาจทำให้เกิดโรคได้ ตัวอย่างที่รู้จักกันดีคืออาการโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็ก การไม่มีพัฒนาการในการเจริญเติบโตเนื่องจากขาดสังกะสี และโรคหัวใจในทารกที่ขาดธาตุทองแดง เป็นต้น แต่ในขณะเดียวกัน ไอออนโลหะก็อาจทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกายได้ ตัวอย่างที่รู้จักกันดีคือพิษจากปรอทและตะกั่ว แม้แต่โลหะที่มีความจำเป็นต่อร่างกายก็อาจทำให้เกิดพิษได้ถ้าร่างกายได้รับมากเกินไป ดังนั้น คนที่มีพฤติกรรมกินดินก็อาจได้รับทั้งโลหะที่เป็นประโยชน์และโลหะที่เป็นพิษเข้าไปด้วยในขณะเดียวกัน อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมการกินดินดูเหมือนจะให้ประโยชน์มากกว่าโทษ ถึงแม้ว่าอาจก่อปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพได้ถ้ากินดินมากเกินไปหรือกินอย่างไม่ถูกต้อง

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบช่วงความเข้มข้นของธาตุในดินไพกาจากศรีสะเกษกับดินไพกาบางตัวอย่างจากงานวิจัยอื่น

นักวิจัย/ปี	ช่วงความเข้มข้นของธาตุ (mg/kg)								
	Al	Ba	Fe	K	Mg	Mn	Si	Ti	Zn
John and Duquette, 1991	61000-214100	-	11600-60000	-	603-8924	155-3980	174100-363100	2381-9684	<10-185
Aufreiter et al., 1997	41000-97000	340-1200	13300-71900	3500-27000	900-6800	133-409	300000-400000	2400-7600	-
Abrahams, 1997	-	-	22643-81696	1521-8322	1058-3107	41-2247	-	-	35-99
Sriood et al., 1999	72700-161800	-	-	-	-	45800-140100	-	3100-7200	-
Mahaney et al., 2000	103000-151000	240-660	50700-75800	10200-23000	6000-31000	650-2360	-	-	-
Smith et al., 2000	50-130000	-	70-81600	-	60-2820	-	-	-	1-79
Kikouama et al., 2009	112610-175290	192-568	12810-23660	7050-47300	720-5580	0.44-21	215090-301510	5460-9780	43-99
ดินไพกาจากศรีสะเกษ, 2003	50295-108914	2794-3225	7280-19083	623-2055	ND-405	51-88	254850-316466	8326-9712	48-59

ND = Not detected



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างสเปกตรัมเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ในการวิเคราะห์ดินตัวอย่าง

#### 4.2.5 ปริมาณเหล็กและสังกะสีที่ร่างกายนำไปใช้ได้

เนื่องจากการคิดกันว่าเหล็กและสังกะสีมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการกินดิน (Rose et al., 2000) จึงน่าสนใจที่จะวิเคราะห์หาว่า ในดินที่ชาวบ้านนำมากินนั้น มีปริมาณเหล็กและสังกะสีที่ร่างกายนำไปใช้ได้ยู่อเท่าใด ในการทดลองนี้ จะใช้เทคนิคอะตอมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี วัดหาปริมาณเหล็กและสังกะสีในฟอร์มที่ร่างกายนำไปใช้จากการดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร โดยจำลองระบบการย่อยของคนเราโดยใช้กรด HCl เข้มข้น 0.10 M ในการสกัดเหล็กและสังกะสีที่ร่างกายนำไปใช้ได้ออกมา ซึ่งผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณเหล็กและสังกะสีที่ร่างกายนำไปใช้ได้

ตัวอย่าง	ปริมาณ Fe ที่ร่างกายนำไปใช้ได้ (mg/kg)	ปริมาณ Zn ที่ร่างกายนำไปใช้ได้ (mg/kg)
1	72.05	0.86
2	79.91	0.67
3	47.32	0.61
4	22.35	0.52

ปริมาณเหล็กที่ร่างกายนำไปใช้ได้มีค่าตั้งแต่ 22.35 mg/kg (ตัวอย่าง 4) ไปจนถึง 79.91 mg/kg (ตัวอย่าง 2) ส่วนปริมาณสังกะสีที่ร่างกายนำไปใช้ได้อยู่ในช่วง 0.52 mg/kg (ตัวอย่าง 4) ถึง 0.86 mg/kg (ตัวอย่าง 1) เมื่อนำค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ไปเปรียบเทียบกับปริมาณของ Fe, Zn ที่คนไทยควรได้รับในแต่ละวันที่กำหนดโดย The Committee on Recommended Daily Dietary Allowance ในปี 1989 สำหรับคนไทยที่มีสุขภาพสมบูรณ์ ก็จะได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.8 โดยพิจารณาเฉพาะเด็กในช่วงอายุ 7-9 ปี และสตรีสูงอายุในช่วง 50-59 ปี เพราะทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีพฤติกรรมการกินดินในจังหวัดศรีสะเกษ โดยสมมุติว่าปริมาณดินที่กินเท่ากับที่ Geissler et al. (1997) รายงานไว้ คือ 28 กรัมต่อวัน

นอกจากนี้ จะเห็นว่าปริมาณเหล็กที่ร่างกายนำมาใช้ได้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยของน้ำย่อยในกระเพาะ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับว่ามีเหล็กอยู่ในดินมากน้อยอย่างไรด้วย เพราะเหล็กที่อยู่ในดินอาจอยู่ในฟอร์มสารเชิงซ้อนที่เหล็กถูกจับไว้อย่างแข็งแรงจนกรดในกระเพาะไม่สามารถดึงเหล็กออกมาได้

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบปริมาณเหล็กและสังกะสีที่ผู้กินดิน ไปกจากศรีสะเกษได้รับกับปริมาณที่แนะนำให้คนไทยควรได้รับในแต่ละวัน

กลุ่ม	RDA สำหรับคนไทย		ปริมาณ Fe, Zn ที่ผู้กินดิน 28 กรัมจะได้รับ							
	Fe (mg)	Zn (mg)	ตัวอย่าง 1		ตัวอย่าง 2		ตัวอย่าง 3		ตัวอย่าง 4	
			Fe (mg)	Zn (mg)	Fe (mg)	Zn (mg)	Fe (mg)	Zn (mg)	Fe (mg)	Zn (mg)
เด็กอายุ 7-9 ปี	10	10	2.018	0.0243	2.236	0.0177	1.323	0.0177	0.625	0.0149
สตรีอายุ 50-59 ปี	10	15								

ข้อมูลที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าในทุกตัวอย่าง Fe จะเป็นธาตุหลักในการเป็นแร่ธาตุเสริมให้กับผู้กินดินได้ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่แนะนำให้ร่างกายได้รับ หรือค่า RDA (Recommended Daily Dietary Allowances) ตัวอย่างเช่น ถ้าเด็กคนหนึ่งกินดินตัวอย่าง 1 ไป 28 กรัม เด็กคนนั้นจะได้รับเหล็ก 2.018 มิลลิกรัม และสังกะสี 0.0243 มิลลิกรัม ซึ่งคิดเป็น 20.18% และ 0.245% ของปริมาณที่แนะนำให้ร่างกายได้รับสำหรับเหล็กและสังกะสี ตามลำดับ ถึงแม้จะค่อนข้างชัดเจนว่าคนกินดินจะได้รับแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์จากการกินดิน แต่จะประเมินประโยชน์ของแร่ธาตุที่มีต่อร่างกายให้ถูกต้องได้ค่อนข้างยาก มีแฟกเตอร์หลายอย่าง เช่น อายุ เพศ องค์ประกอบของอาหารที่กิน (เป็นเนื้อสัตว์หรือเป็นผัก) การแข่งขันของอันตรกิริยาระหว่างธาตุสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้อาจมีผลต่อปริมาณธาตุที่ร่างกายจะนำไปใช้ได้ (Abrahams and Parson, 1997) นอกจากนี้ ดินอาจมีพิษที่เป็นปราสิต และอาจมีโลหะที่เป็นพิษและมีอันตรายต่อร่างกาย

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของเหล็กและสังกะสีที่ร่างกายนำไปใช้ได้ ในดิน ไปกจากศรีสะเกษ กับดิน ไปกจากผลการวิจัยอื่น ๆ ตัวอย่างดินจากการวิจัยของ John และ Duquette (1991) มีค่าความเข้มข้นของเหล็กและสังกะสีสูงสุด ข้อมูลจากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของปริมาณเหล็กและสังกะสีที่ร่างกายนำไปใช้ได้จากแหล่งต่าง ๆ จะแตกต่างกัน ตามที่ได้เคยกล่าวไว้แล้วว่า มีแฟกเตอร์หลายอย่างที่มีผลต่อค่าความเข้มข้นดังกล่าว เช่น วัสดุแหล่งที่มา พืชพรรณต่าง ๆ สภาพอากาศ ตลอดจนปุ๋ยที่ใช้ นอกจากนี้ วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กและสังกะสีที่ร่างกายนำไปใช้ได้ยังมีผลต่อค่าที่วิเคราะห์ได้ด้วย อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ดิน ไปกซึ่งมาจากทางเหนือของประเทศไทย ในงานวิจัยของ Abrahams และ Parson (1997) มีค่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้ ความเข้มข้นของเหล็กและสังกะสีที่ร่างกายนำไปใช้ได้ในงานวิจัยของเขามีค่า 34 mg/kg และ 0.3 mg/kg ตามลำดับ ในขณะที่งานวิจัยนี้มีปริมาณเหล็กและสังกะสีที่ร่างกายนำไปใช้ได้มีค่าเฉลี่ย 44.66 mg/kg และ 0.67 mg/kg ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบปริมาณเหล็กและสังกะสีในดินไพกาจากศรีสะเกษ ที่ร่างกายนำไปใช้ได้ กับดินไพกาจากกลุ่มวิจัยอื่น

นักวิจัย/ปีที่ทำการวิจัย	ชื่อตัวอย่าง/แหล่งที่มา	ปริมาณเหล็กที่นำไปใช้ได้ (mg/kg)	ปริมาณสังกะสีที่นำไปใช้ได้ (mg/kg)
Hunter and de Kleine (1984) <sup>a</sup>	Tierra Santa Central America	43.4	9.90
Johns and Duquette (1991) <sup>b</sup>	California, Hopland	3000	-
	Sardinia, Baunei	5000	-
	Cameroon	9000	-
	Kenya-1	7000	3000
	Kenya-2	12000	5000
	Nigeria	10000	3000
	Togo	5000	-
	Zambia	74000	2000
	Zaire	497000	-
Abrahams (1997) <sup>c</sup>	Uganda	528*	6.7*
Abrahams and Parsons (1997) <sup>c</sup>	Thailand	34	0.3
	Uganda	326	4.0
	Zaire	380	2.0
Geissler et al. (1998) <sup>d</sup>	Western Kenya	168.9**	2.7**
ผลการวิเคราะห์จากการวิจัยเรื่องนี้	ดินจากจังหวัดศรีสะเกษ		
	ตัวอย่าง 1	72.05	0.86
	ตัวอย่าง 2	79.91	0.67
	ตัวอย่าง 3	47.32	0.61
	ตัวอย่าง 4	22.35	0.52
	ค่าเฉลี่ย	44.66	0.67

หมายเหตุ

- ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

\* เป็นค่ามัธยฐาน (n = 13)

\*\* เป็นค่ามัธยฐาน (n = 48)

a ระบบการย่อยจำลอง : ใช้ HCl 0.1 N 50 ml สกัดดินตัวอย่าง 5 g แล้ววิเคราะห์หา Fe, Zn โดยเทคนิค AAS

- b ระบบการย่อยจำลอง : ใช้ NaCl 0.1 M 50 ml ปรับ pH ให้เป็น 2 ด้วย HCl แล้วสกัดดินตัวอย่าง 1 g วิเคราะห์หา Fe, Zn โดยเทคนิค AAS
- c ระบบการย่อยจำลอง : ใช้ HCl 0.1 N 20 ml สกัดดินตัวอย่าง 1 g แล้ววิเคราะห์หา Fe, Zn ด้วยเทคนิค AAS
- d ระบบการย่อยจำลอง : ใช้ HCl 0.1 M 100 ml สกัดดินตัวอย่าง 10 g แล้ววิเคราะห์หา Fe, Zn ด้วยเทคนิค AAS