บทที่ 1
บทนำ

การกินดินและกินสิ่งต่าง ๆ ที่ไม่ใช่อาหารตามปกติของมนุษย์ เป็นพฤติกรรมที่พบมานานแล้ว ถือว่าเป็นความผิดปกติที่เรียกว่า อาการไพกา (pica) คำว่าไพกานี้มาจากภาษาละติน เป็นชื่อเรียกนกจำพวกกา (magpie) ชนิดหนึ่ง นกชนิดนี้กินไม่เลือกแล้วยังชอบคาบสิ่งของต่าง ๆ แล้วพาบินไป (Halsted, 1968; Solyom et al., 1991; Moore and Sear, 1994; Eastwood, 1997; Rose et al., 2000) โดยทั่วไปแล้ว ไพกา หมายถึง การกินสิ่งที่ไม่ใช่อาหาร หรือมีความอยากอย่างรุนแรงที่จะกินสิ่งที่ไม่ใช่อาหารนั้น (Moore and Sear, 1994; Ziegler, 1997)

พฤติกรรมไพกานี้มีหลายรูปแบบ นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้คำจากภาษากรีก "phagein" ซึ่งแปลว่า "การกิน" มาต่อท้ายในการระบุพฤติกรรมไพการูปแบบต่าง ๆ (Moore et al., 1994) เช่น geophagia คือการกินดิน, lithophagia การกินหินกินกรวด, stacthophagia การกินเถ้าบุหรี่ และ trichophagia คือการกินเส้นผม (Moore and Sear, 1994) ส่วนการกินแป้งดิบ ๆ เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี รวมทั้งข้าวดิบ จะใช้คำว่า amylophagy (Ward and Kutner, 1999) มีการตั้งสมมุติฐานหลายอย่างเพื่ออธิบายเหตุผลการมีพฤติกรรมไพกานี้ เช่น อาจเกิดจากการที่ร่างกายขาดธาตุบางอย่าง หรือเพราะความหิว หรือเป็นประเพณีความเชื่อดั้งเดิม และเพื่อป้องกันอาการคลื่นไส้ หรือแม้แต่เพื่อเรียกร้องความสนใจ Rose (1983) ได้เสนอความเห็นว่า เมื่อร่างกายขาดธาตุสังกะสี สมองจะรับรู้และสั่งให้สิ่งมีชีวิตนั้นเสาะแสวงหาสิ่งที่ขาดไปจากอาหารหรือแม้แต่จากสิ่งที่ไม่ใช่อาหารในสภาพแวดล้อม เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของร่างกาย นอกจากนี้ ยังพบความเชื่อมโยงระหว่างพฤติกรรม ไพกากับการขาดธาตุเหล็กอีกด้วย แต่ยังไม่รู้รายละเอียดที่ชัดเจนในความเชื่อมโยงนั้น (Boyle and Mackey, 1999)

คำว่า geophagia หรือ geophagy นี้ หมายถึง นิสัยการกินดินเหนียวและดินชนิดอื่น ๆ (Moore and Sears, 1994) ได้มีการบันทึกเกี่ยวกับการกินดินนี้มาตั้งแต่ศตวรรษที่ 13 ในยุคกรีกและโรมัน (Rose et al., 2000) แต่ผู้ที่กล่าวถึงคำว่า geophagy เป็นคนแรกคืออริสโตเติล ซึ่งเป็นนักปราชญ์ที่มีชื่อเสียง (Mahaney et al., 2000) Von Humboldt ได้เล่าไว้ในบันทึกการเดินทางไปอเมริกาใต้ของเขาในช่วงปี คศ. 1799-1804 เอาไว้ว่า ได้พบชนเผ่าโอโตแมค ซึ่งอาศัยอยู่ริมแม่น้ำโอริโนโกกินดินกันเป็นปกติ (Halsted, 1968; Abrahams, 1996) มีบันทึกเกี่ยวกับการกินดินในทุกพื้นที่ของโลก ทั้งในแง่ที่เป็นพฤติกรรมแปลกของแต่ละบุคคล หรือเป็นวัฒนธรรมความเชื่อของกลุ่มสังคมหนึ่ง ๆ (Reid, 1992)

พฤติกรรมการกินดินนี้พบได้ในหลายทวีป เช่น ทวีปอัฟริกา (Mahaney et al., 2000; Halsted, 1968; Abrahams and Parsons, 1996; Abrahams, 1997) ทวีปเอเชีย (Boyle and Mackey,

1999; Mahaney et al., 2000) ทวีปอเมริกา (Ziegler, 1997; Boyle and Mackey, 1999) ทวีปยุโรป (Ziegler, 1997) และทวีปออสเตรเลีย (Callahan, 2000) และในพื้นที่ของ Georgia Piedmont ตอนกลางก็พบการกินดินสอพองกันได้ทั่วไป (Grigsky et al., 1999) การกินดินพบได้เป็นปกติในประเทศด้อยพัฒนา ซึ่งยังมีประชากรจำนวนมากที่ยังยากจนและขาดสารอาหาร แต่การกินดินก็ไม่ได้จำกัดอยู่ในกลุ่มนี้เท่านั้น (Oliver, 1997) ในบทที่ 2 จะมีรายละเอียดเกี่ยวกับการกินดินเพิ่มเติม

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

การทำวิจัยเกี่ยวกับการกินดินนี้ นับย้อนหลังไปได้เกือบยี่สิบปีมานี้เอง นักวิจัยได้พบพฤติกรรมกินดินในสิ่งมีชีวิตหลายชนิด ซึ่งรวมทั้งสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นก สัตว์เลื้อยคลาน ผีเสื้อ และพวกไอโซพอด (Diamond, 1999) นักวิทยาศาสตร์สนใจพฤติกรรมกินดินของมนุษย์ เพราะว่ายังไม่มีความชัดเจนเกี่ยวกับอิทธิพลและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น และยังมีข้อโต้แย้งกันอยู่ว่า การขาดแร่ธาตุ เช่น เหล็ก แคลเซียมและสังกะสีทำให้เกิดอาการไพกา หรืออาการไพกามีผลทำให้เกิดการขาดแร่ธาตุ (Solyom et al., 1991; Boyle and Mackey, 1999) นอกจากนี้การกินดินยังก่อให้เกิดปัญหาทางการแพทย์หลายอย่างต่อสุขภาพของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น การติดเชื้อพยาธิ (helminthiasis) (Abrahams, 1997) การขาดสารอาหาร การบาดเจ็บของฟัน (Federman et al., 1997) ปัญหาเกี่ยวกับท้องและความเป็นพิษจากแร่ธาตุในดิน เช่น พิษจากตะกั่ว และอาร์เซนิก (Ziegler, 1997) หรืออันตรายจากปรอทและฟอสฟอรัส (Federman et al., 1997) มากไปกว่านั้น แบคทีเรียบางประเภท สารกำจัดศัตรูพืช และนิวไคลด์กัมมันตรังมีที่มีอยู่ในดิน ก็มีผลต่อร่างกายมนุษย์ (Simon, 1997) การกินดินเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เด็กชาวอัฟริกันมีความเสี่ยงที่จะได้รับพยาธิ nematode เข้าไปทางปากด้วย (Glickman et al., 1999) ส่วนอาการไพกาที่อยากกินหัวไม้ขีดที่จุดแล้ว (cautopyreiophagia) ก็อาจทำให้เกิดอาการ hyperkalemia หรือมีปริมาณโปตัสเซียมสูงในกระแสเลือด (Cynthia et al., 2012)

มีความคิดที่แตกต่างกันอยู่ 2 กลุ่มเกี่ยวกับคำอธิบายสาเหตุของการเกิดอาการไพกา กลุ่มแรกเชื่อว่าการขาดแร่ธาตุ อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการไพกา นักวิจัยในกลุ่มนี้ ได้แก่ Abrahams และ Parsons (1997), Moore และ Sears (1994), Lanzkowsky (อ้างใน Abrahams และ Parsons, 1966; Simon, 1997), Feldman (อ้างใน Abrahams และ Parsons, 1997), Munoz และคณะ (1998), Shisslak และคณะ (1999) นักวิจัยเหล่านี้สนับสนุนความคิดที่ว่าการขาดธาตุอาหาร เช่น เหล็กและสังกะสีมีความสัมพันธ์กับการมีอาการไพกา Moore และ Sears (1994) ได้ย้ำว่าการขาดธาตุเหล็กเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นก่อนที่จะมีอาการไพกา ดังเช่นอาการไพกาที่อยากกินน้ำแข็ง (pagophagia) ก็ไม่ได้เป็นการกินที่ทำให้ได้แคลอรีมากขึ้น หรือไปทำให้การดูดซึมอาหารเสียหายแต่อย่างใด และอาการไพกาอยากกินน้ำแข็งนี้ ก็เป็นสิ่งที่พบกันได้มากด้วย กลไกที่การขาดธาตุเหล็กแล้วทำให้เกิดอาการไพกายังไม่เป็นที่ชัดเจน แต่การให้ธาตุเหล็กเสริมจะทำให้ความอยากกินของผู้ที่มีอาการไพกาหาย

ได้อย่างรวดเร็ว ก่อนได้รับการรักษาอาการโลหิตจางด้วยซ้ำไป Munoz และคณะ (1998) ได้เสนอเช่นเดียวกันว่า อาการไพกาน่าจะเป็นอาการที่เกิดตามมาจากการขาดธาตุเหล็กมากกว่าที่จะเป็นสาเหตุของการขาดธาตุเหล็ก

ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งนั้นเชื่อว่าอาการไพกาทำให้เกิดการขาดแร่ธาตุตามมา การกินดินจะทำให้เกิดการขาดแร่ธาตุโดยเฉพาะธาตุเหล็ก เนื่องมาจากอันตรกิริยาระหว่างแร่ธาตุในดิน (Boyle and Mackey, 1999) นักวิจัยบางคนเชื่อว่าการกินดินทำให้เกิดโรคโลหิตจาง เพราะดินไปจับกับธาตุเหล็กในอาหาร ทำให้ร่างกายนำไปใช้ไม่ได้ การที่ดินเหนียวจับกับเหล็กได้เพราะวิสัยสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของอนุภาคดินเหนียวนั่นเอง ตามปกติแล้วที่พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียวในดินจะมีประจุลบ ซึ่งจะถูกสะเทินด้วยประจุบวกจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต กลไกดังกล่าวเรียกว่าการแลกเปลี่ยนแคตไอออน ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเชื่อกันว่าดินที่คนเรากินเข้าไปนั้นสามารถดูดซับแร่ธาตุบางอย่างเช่นเหล็กและสังกะสีได้ ทำให้นักวิจัยหลายคนสนับสนุนความคิดที่ว่าพฤติกรรมกินดินทำให้เกิดการขาดแร่ธาตุ

มีรายงานการวิจัยชิ้นหนึ่งที่เสนอแนะว่าวิสัยสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนนี้อาจทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมโปตัสเซียมและปรอทได้ ซึ่งน่าจะเป็นกลไกเดียวกันที่ยับยั้งการดูดซึมและทำให้เกิดการขาดธาตุสังกะสี (Halsted, 1968) นอกจากนั้น ฮิวมัสหรือสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดินยังยับยั้งการดูดซึมเหล็กในร่างกายคนได้ การกินดินที่มีฮิวมัสอยู่ด้วยจะทำให้เกิดการขาดธาตุเหล็ก และตามปกติแล้วการขาดธาตุเหล็กจะทำให้เกิดอาการโลหิตจางในคนเราได้ (Moynahan, 1979 อ้างใน Oliver, 1997)

ถึงแม้ว่าจะมีการศึกษาจำนวนมากที่พบว่าการขาดธาตุเหล็กและสังกะสีมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมกินดินของคน แต่ก็ยังไม่รู้รายละเอียดที่ชัดเจนเกี่ยวกับความสัมพันธ์ดังกล่าว แต่ก็เป็นที่รู้กันดีอยู่แล้วว่าธาตุในปริมาณน้อย ๆ โดยเฉพาะเหล็กและสังกะสีมีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์ ในบรรดาธาตุปริมาณน้อยต่าง ๆ ที่มีในร่างกายคนนั้น ธาตุเหล็กเป็นธาตุที่มีอยู่มากที่สุด ส่วนใหญ่ของธาตุเหล็กจะอยู่ในเซลล์เม็ดเลือดแดง โดยเป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบิน และยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์อีกหลายชนิด เช่น ไซโทโครม ซึ่งมีหน้าที่ในการขนส่งอิเล็กตรอน หรือเอนไซม์ออกซิเดสและออกซิเจเนส ซึ่งมีหน้าที่ในการกระตุ้นออกซิเจน หน้าที่สำคัญของเหล็กในร่างกายเกี่ยวข้องกับการขนส่งออกซิเจนในเลือดและกล้ามเนื้อ การขนส่งอิเล็กตรอนที่สัมพันธ์กับการเมตาบอลิสมของพลังงาน เช่น การถ่ายโอนพลังงานภายในเซลล์และไมโทคอนเดรีย และยังมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดเกี่ยวกับการเพิ่มจำนวนของเซลล์ การสร้างและการทำลายอนุมูลออกซิเจนและเปอร์ออกไซด์ ระบบการทำงานของฮอร์โมน และระบบภูมิต้านทานบางอย่าง

ส่วนธาตุสังกะสี เป็นธาตุปริมาณน้อยที่พบได้ทั่วไปในเนื้อเยื่อของคนและสัตว์ และมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์จำนวนมากในกระบวนการเมตาบอลิสม สังกะสีเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อเอนไซม์มากกว่าร้อยชนิด ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับคาร์โบไฮเดรท

การเมตาบอลิสมของพลังงาน การสังเคราะห์ การสลายโปรตีน การสังเคราะห์ฮีมทางชีวภาพ การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ และปฏิกิริยาอีกหลายอย่าง จากความรู้ดังกล่าวนักวิจัยจำนวนมากจึงมีสมมุติฐานว่าการขาดแร่ธาตุเป็นสาเหตุของพฤติกรรมไพกา

ในประเทศไทยนั้น พบพฤติกรรมกินดินในหลายจังหวัด เช่น เพชรบูรณ์ พิษณุโลก นครราชสีมา และชัยภูมิ (Sriood และคณะ, 1999) ศรีสะเกษ (คมชัดลึก, 2001) ซึ่งที่ศรีสะเกษเป็นกรณีที่รู้จักกันแพร่หลายเพราะเป็นข่าวโดยสื่อหลายแขนงอยู่บ่อยครั้ง เพราะจังหวัดศรีสะเกษเป็นจังหวัดที่ประชาชนยากจนที่สุดของประเทศ ประชากรจำนวนมากโดยเฉพาะเด็กมีสภาพทุพโภชนาการ และเมื่อไหร่ก็ตามที่นักข่าวพบเรื่องราวที่น่าสนใจเกี่ยวกับเรื่องนี้ ก็มักจะทำให้เป็นข่าวพาดหัวอยู่เสมอ ชาวบ้านในจังหวัดศรีสะเกษกินดินด้วยเหตุผลหลายอย่าง เช่น กินดินเป็นยา กินดินตามความเชื่อของวัฒนธรรม หรือกินดินเป็นอาหารเมื่อไม่มีอะไรจะกิน ซึ่งสาเหตุหลังนี้ก็เป็นสิ่งที่พบกันอยู่ทั่วโลกสำหรับประเทศที่ยากจน เช่นที่ไฮติ ก็มีคุกกี้ดินจำหน่ายให้ประชาชนที่ไม่มีอะไรจะกินเช่นกัน ชาวบ้านส่วนใหญ่เชื่อว่าดินเป็นยาพื้นบ้านที่ใช้รักษาโรคภัยไข้เจ็บได้ และยังทำให้พวกเขามีสุขภาพดีด้วย ซึ่งความเชื่อลักษณะนี้ก็ส่งต่อกันมาจากรุ่นสู่รุ่น

ถึงแม้ว่าพฤติกรรมไพกานี้จะเกิดขึ้นอย่างกว้างขวางและเกี่ยวข้องกับปัญหาร้ายแรงทางสุขภาพ แต่ก็ยังไม่มีใครรู้แน่ชัด ถึงสาเหตุและผลที่ตามมา แม้แต่ในประเทศไทยเอง ก็มีข้อมูลไม่มากนักเกี่ยวกับพฤติกรรมการกินดิน จึงน่าสนใจที่จะทำวิจัยเกี่ยวกับการกินดินนี้ ในการศึกษาครั้งนี้ จะศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ชาวบ้านในจังหวัดศรีสะเกษนำมากิน พารามิเตอร์ทางเคมีที่จะศึกษา ได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน วิสัยสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน ค่าพีเอชของดิน ปริมาณเหล็กและสังกะสีที่ร่างกายดูดซึมไปใช้ได้ และธาตุองค์ประกอบของดิน สำหรับธาตุองค์ประกอบของดินนั้นจะเป็นการวิเคราะห์เชิงกึ่งปริมาณ โดยใช้เทคนิคเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ชนิดกระจายคลื่น ส่วนการหาปริมาณเหล็กและสังกะสีที่ร่างกายดูดซึมไปใช้ได้ จะเป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้เทคนิคอะตอมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี ลักษณะทางกายภาพของดินไพกา (ดินที่นำมากิน) ที่จะศึกษา ได้แก่ สีของดิน ปริมาณความชื้นของดิน และปริมาณที่สูญหายไปหลังการเผา ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ อาจจะสนับสนุนข้อสมมุติฐานที่ว่าดินไพกาอาจเป็นแหล่งของแร่ธาตุ โดยเฉพาะเหล็กและสังกะสีให้กับร่างกายของคน และยังเป็นข้อมูลเพิ่มเติมของพฤติกรรมกินดินในประเทศไทยอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีของตัวอย่างดินไพกาที่ซื้อมาจากตลาด และดินไพกาจากแหล่งดินในหมู่บ้าน จังหวัดศรีสะเกษ
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพบางอย่างของตัวอย่างดินไพกาดังกล่าว
3. เพื่อเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ที่ศึกษาระหว่างดินไพกาจากแหล่งทั้งสอง

1.3 ข้อสมมุติฐานของการวิจัย

ดินไพกา หรือดินที่กินได้นี้มีธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์ (essential elements) โดยเฉพาะเหล็กและสังกะสี

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

จะศึกษาเฉพาะตัวอย่างดินไพกาที่เก็บมาจากแหล่งที่ชาวบ้านระบุว่าเป็นแหล่งดินที่นำมากิน กับดินที่ซื้อจากตลาดสดเทศบาล จังหวัดศรีสะเกษ เท่านั้น

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. ผลการทดลองจะทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติทางเคมีของดินไพกาจากศรีสะเกษ คือ ค่าพีเอช วิสัยสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน ธาตุองค์ประกอบ ปริมาณเหล็กและสังกะสีที่ร่างกายดูดซึมไปใช้ได้ และปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน

2. ผลการทดลองจะทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพบางอย่างของดินไพกา เช่น สีและปริมาณที่หายไปหลังจากการเผา

3. ผลการทดลองอาจจะสนับสนุนข้อสมมุติฐานที่ว่า ดินอาจเป็นแหล่งของแร่ธาตุโดยเฉพาะเหล็กกับสังกะสีสำหรับมนุษย์

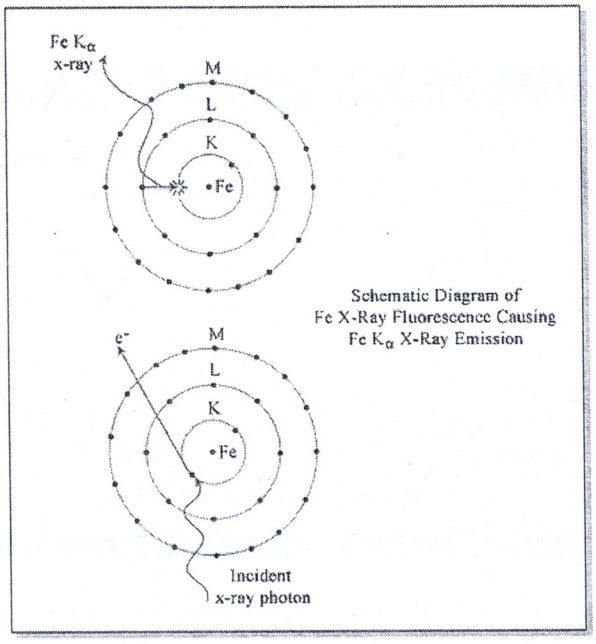
4. ผลการวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น หน่วยงานทางสาธารณสุข และผู้บริหารของจังหวัดศรีสะเกษ

1.6 เทคนิคเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ชนิดกระจายคลื่น (Wavelength dispersive x-ray fluorescence, WDXRF)

เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ (x-ray fluorescence, XRF) เป็นเทคนิคทางสเปกโทรสโกปีที่ศึกษาเกี่ยวกับการปล่อยพลังงาน ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด จึงเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของสารตัวอย่างทั้งในเชิงปริมาณและในเชิงคุณภาพ

เมื่อวัตถุได้รับแสงความยาวคลื่นสั้นเช่นรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา อะตอมของวัตถุจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออนโดยปล่อยอิเล็กตรอนออกมาหนึ่งตัวหรือมากกว่าเมื่อรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาที่ได้รับมีค่าพลังงานสูงกว่าค่าศักย์ของการแตกตัวเป็นไอออนของอะตอมนั้น รังสีเอกซ์และรังสีแกมมาจะมีพลังงานสูงมากพอที่จะผลักอิเล็กตรอนจากออร์บิทัลชั้นในของอะตอมซึ่งถูกจับยึดไว้อย่างแข็งแรงให้หลุดออกไปจากอะตอมได้ ซึ่งจะทำให้โครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ของอะตอมไม่เสถียร อิเล็กตรอนในออร์บิทัลรอบนอกจะลงมาอยู่แทนที่อิเล็กตรอนชั้นในที่หลุดออกไป พร้อมทั้งคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของโฟตอน ซึ่งมีค่าเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานของ

ออร์บิทัลที่เกี่ยวข้อง นั่นคือ ทำให้วัตถุที่ได้รับรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมานั้นคายพลังงานออกมา ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของอะตอมของวัตถุนั้น ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซึมรังสี ซึ่งมีค่าพลังงานที่กำหนด แล้วทำให้เกิดการคายพลังงานออกมาซึ่งมีค่าต่ำกว่าเดิม เรียกว่า ปรากฏการณ์ฟลูออเรสเซนส์



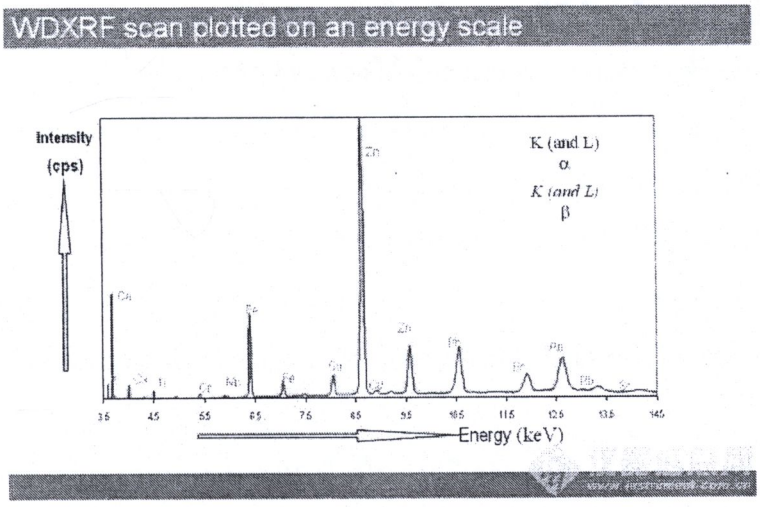
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างการแทรนซิชันของอิเล็กตรอนในอะตอมของเหล็ก

ออร์บิทัลของอิเล็กตรอนในแต่ละธาตุนั้น จะมีค่าพลังงานเฉพาะตัว เมื่อโฟตอนพลังงานสูงจากแหล่งกำเนิดแสงปฐมภูมิทำให้อิเล็กตรอนวงในหลุดออกไปแล้วนั้น อิเล็กตรอนจากวงนอกก็จะเข้าไปแทนที่ ซึ่งวิธีการที่จะเข้าไปแทนที่นั้นจะถูกจำกัดตามกฎเกณฑ์ของควอนตัม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.1 การแทรนซิชันหลัก คือการแทรนซิชันของอิเล็กตรอนจากเชลล์ L ไปยังเชลล์ K หรือการแทรนซิชัน $L \rightarrow K$ ซึ่งปกติจะเรียกชื่อว่า K_α ส่วนการแทรนซิชันจาก $M \rightarrow K$ เรียกว่า K_β และ L_α คือการแทรนซิชันของอิเล็กตรอนจาก $M \rightarrow L$ การแทรนซิชันพวกนี้จะทำให้เกิดการปล่อยพลังงานส่วนเกินในรูปของเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ ซึ่งมีค่าพลังงานเป็นค่าเฉพาะของแต่ละธาตุ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว และค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่เกิดขึ้นนี้ หาได้จากกฎของพลังค์ (Planck's Law) ดังนี้

$$\lambda = h.c/E$$

การวิเคราะห์ฟลูออเรสเซนส์ที่ได้ออกมา ทำได้โดยการหาค่าพลังงานของโฟตอน (การวิเคราะห์แบบกระจายพลังงาน ; energy dispersive analysis) หรือโดยการหาค่าความยาวคลื่นของ

การฟลูออเรส (การวิเคราะห์แบบกระจายคลื่น ; wavelength dispersive analysis) ก็ได้ ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์โดยวิธีใด สุดท้ายจะได้ว่าความเข้มของรังสีเฉพาะของธาตุ จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ซึ่งเป็นพื้นฐานของเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์ทางเคมี รูปที่ 1.2 แสดงลักษณะของเส้นสเปกตรัมของการฟลูออเรสที่ได้จากการวิเคราะห์แบบกระจายคลื่น



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างสเปกตรัมของเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์จากการวิเคราะห์แบบกระจายคลื่น

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในเทคนิค XRF จะต้องให้โฟตอนที่มีพลังงานสูงมากพอที่ทำให้อิเล็กตรอนวงในของธาตุหลุดออกไปได้ ปกติจะใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ เช่น หลอดเอกซ์เรย์หรือเครื่องซินโครตรอน ซึ่งจะสามารถปรับค่าพลังงานในช่วง 20-60 kV ได้ ส่วนเครื่อง XRF ขนาดเล็กที่เคลื่อนย้ายได้ง่าย นิยมใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา ซึ่งได้จากธาตุกัมมันตรังสีบางชนิด

ในการวิเคราะห์แบบกระจายคลื่น ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้ รังสีเอกซ์ที่ฟลูออเรสออกมาจากธาตุในสารตัวอย่าง จะถูกกระจายเป็นรังสีเอกซ์ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กันโดยใช้ diffraction grating monochromator ซึ่งปกติจะเป็นผลึกเดี่ยว (single crystal) โดยการเปลี่ยนแปลงมุมที่รังสีเอกซ์ตกกระทบผลึกและเปลี่ยนแปลงมุมของการสะท้อนบนพื้นผิวของผลึก จะทำให้เลือกรังสีเอกซ์ความยาวคลื่นเดียวได้ ความยาวคลื่นที่ได้จะเป็นไปตามสมการของแบรกก์

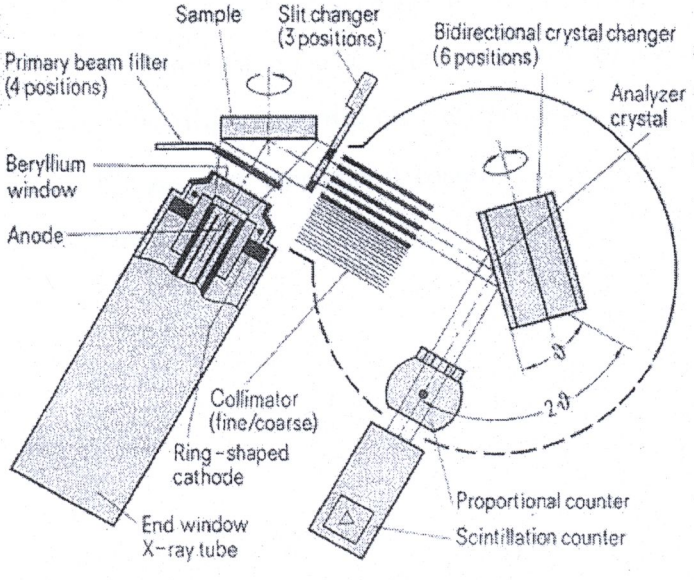
$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

เมื่อ d คือระยะห่างระหว่างชั้นของอะตอมที่ขนานกับพื้นผิวของผลึก

เมื่อได้รังสีเอกซ์ความยาวคลื่นเดียวจาก monochromator แล้ว จะผ่านรังสีนั้นไปยัง photomultiplier ซึ่งเป็นตัววัดลักษณะคล้าย Geiger counter ซึ่งจะนับแต่ละโฟตอนที่ผ่านเข้าไป แล้วทำให้แก๊สที่บรรจุอยู่ในตัววัดเกิดการแตกตัว ได้เป็นกระแสอิเล็กตรอน ซึ่งเมื่อนำไปขยายสัญญาณแล้ว จะได้เป็นข้อมูลออกมาเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อได้

กระบวนการเกิดฟลูออเรสเซนส์เป็นกระบวนการที่ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพนัก และรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ (รังสีเอกซ์ที่ธาตุตัวอย่างคายออกมา) มีความเข้มน้อยกว่ารังสีเอกซ์ปฐมภูมิ (รังสีเอกซ์จากแหล่งกำเนิดแสง) มาก นอกจากนี้รังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมน้อยยังมีพลังงานค่อนข้างต่ำ มีความสามารถในการทะลุทะลวงได้น้อย และพลังงานจะลดต่ำลงอย่างมากเมื่อเดินทางผ่านอากาศ เพราะอากาศจะดูดซับรังสีเอกซ์บางส่วนไป ดังนั้น ในการวิเคราะห์ที่ต้องการสมรรถนะสูง ระบบจึงต้องอยู่ในสุญญากาศ ส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง XRF จึงต้องอยู่ในระบบสุญญากาศเป็นส่วนใหญ่ เครื่องมือจึงมีราคาค่อนข้างสูง แต่ถ้าเป็นการวิเคราะห์ที่ไม่ต้องการประสิทธิภาพสูงมากนัก หรือถ้าสารตัวอย่างอาจถูกทำลายในสุญญากาศ (เช่น สารที่กลายเป็นไอได้) อาจใช้ระบบซึ่งมีบรรยากาศของฮีเลียมได้ แต่ก็ทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากธาตุเบา ๆ สูญเสียไปได้บ้าง

เทคนิคการวิเคราะห์แบบ XRF นี้ เป็นการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายสารตัวอย่าง โดยหลักการแล้ว เบอริลเลียม (Be, เลขอะตอม 4) เป็นธาตุเบาที่สุดที่จะวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค XRF แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือ และรังสีเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ของธาตุเบา ๆ ที่มีความเข้มต่ำ จึงเป็นการยากที่จะหาปริมาณของสารที่เบากว่าโซเดียม ซึ่งมี Z หรือเลขอะตอมเท่ากับ 11 ถ้าไม่มีการแก้ไขเกี่ยวกับรังสีพื้นหลัง และการแก้ไขเกี่ยวกับ interelement effect



รูปที่ 1.3 แผนภูมิของเครื่องมือ WDXRF

ในเครื่องมือ XRF ชนิดกระจายคลื่นนี้ รังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากธาตุในสารตัวอย่างจะถูกหักเห ด้วยผลึกเดี่ยวที่เหมาะสม ได้รังสีเอกซ์ความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน ก่อนที่จะทำการวัดด้วยตัวตรวจวัด ซึ่งอาจจะเป็นการวัดทีละความยาวคลื่น ซึ่งเป็นค่าความยาวคลื่นเฉพาะของธาตุที่สนใจ หรืออาจจะวัดหลายความยาวคลื่นในขณะเดียวกันก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าเครื่องมือที่ใช้เป็นชนิด sequential spectrometer (วัดทีละความยาวคลื่น) หรือ simultaneous spectrometer (วัดได้ 15-20 ความยาวคลื่นในขณะเดียวกันได้)

ผลึกที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้น ถ้าเป็นผลึกที่มีโครงสร้างง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน จะทำหน้าที่ในการหักเหแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนผลึกที่มีอะตอมหนัก ๆ อยู่ด้วย ถึงแม้จะทำให้หักเหแสงได้ดี แต่ในเวลาเดียวกันก็อาจเกิดการฟลูออเรส ซึ่งทำให้เกิดการแทรกสอดกับการฟลูออเรสของธาตุที่วิเคราะห์ ส่วนผลึกที่ละลายน้ำได้ ผลึกที่ระเหยกลายเป็นไอได้ หรือผลึกที่เป็นสารอินทรีย์มักจะไม่ค่อยมีความเสถียร ตัวอย่างของผลึกที่นิยมใช้กันได้แก่ lithium fluoride (LiF), ammonium dihydrogen phosphate (ADP), germanium (Ge), graphite, indium antimonide (InSb) เป็นต้น ผลึกแต่ละชนิดก็จะมีลักษณะของระนาบของอะตอมในผลึกที่ทำให้เกิดการหักเหแสงแตกต่างกัน ชนิดของระนาบ และระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมในผลึก ก็เป็นตัวบ่งชี้ว่าควรเลือกผลึกเดี่ยวชนิดใดในการวิเคราะห์ธาตุที่สนใจ

ในการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์นั้น เตรียมได้หลายแบบ อาจใช้แบบเป็นผง อัดให้เป็นเม็ดหรือหลอมรวมกับ fluxing reagent ให้เป็น glass bead ในงานวิจัยได้เลือกใช้วิธีหลัง เพราะการหลอมสารตัวอย่างให้ออกมาเป็น glass bead นั้น จะช่วยลดปัญหาในเรื่องความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของดินได้ เพราะความไม่เป็นเนื้อเดียวกันมีผลต่อการวิเคราะห์เป็นอย่างมาก

สำหรับ detector หรือตัววัดที่ใช้ในเครื่อง XRF ชนิดกระจายคลื่นนั้นจะต้องมีความสามารถจัดการกับพัลส์ (pulse) ได้เร็ว เพื่อที่จะนับโฟตอนที่เข้ามาในอัตราเร็วสูง ๆ ได้ และต้องมีความสามารถในการแยกได้ดี เพื่อกรองสัญญาณรบกวนจากพื้นหลัง ตลอดจนโฟตอนที่ไร้ทิศทางซึ่งมาจากรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ หรือที่มาจากการฟลูออเรสเซนส์ของผลึกเดี่ยวที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตัววัดที่นิยมใช้กัน มี 4 แบบคือ gas flow proportional counters, sealed gas detectors, scintillation counters และ semiconductor detectors