

บทที่ 1

บทนำ

การเกิดของตะกอนโลหะหนักในท้องน้ำอาจเกิดจากหลายปัจจัยเช่นเกิดจากการกัดเซาะผิวดินหรือหินบริเวณจากที่ต่างๆแล้วกระแสน้ำพัดพามวลให้เคลื่อนที่ไปตกที่บริเวณต่างๆของคลองคูตะเภาหรืออาจเกิดจากการที่โรงงานมีการปล่อยน้ำเสียที่มีส่วนผสมของโลหะหนักลงมาในคลองคูตะเภา โดยการศึกษาลักษณะของตะกอนท้องน้ำในคลองคูตะเภาในที่นี้จะศึกษาจากการพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางแม่เหล็กกับความเข้มข้นโลหะหนักของตะกอน

บทนำต้นเรื่อง

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางแม่เหล็กกับความเข้มข้นโลหะหนักของตะกอนท้องน้ำในคลองคูตะเภา และบางส่วนของทะเลสาบสงขลา ในเขตจังหวัดสงขลา สามารถแยกการพิจารณาออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆคือพิจารณาสมบัติทางแม่เหล็กโดยพิจารณาได้จากค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility) และค่าคงที่ต่างๆจากพฤติกรรมของมวลสารทางแม่เหล็ก ซึ่งค่านี้สามารถบอกได้ว่าตะกอนที่วัดมีสมบัติความเป็นแม่เหล็กอยู่มากหรือน้อยเพียงใด และมีการกระจายตัวอย่างไร (Hay , et. al., 1997) อีกส่วนที่พิจารณาคือการพิจารณาหาว่าตะกอนที่พบเป็นตะกอนของโลหะหนักและธาตุชนิดใด และมีปริมาณเท่าใด โดยอาศัยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์รังสีเอกซ์(นเรศร์ จันทรชิว ,2525) เพื่อทำเป็นฐานข้อมูลลายพิมพ์รังสีเอกซ์เรือง(fluorescent X-ray fingerprint) รวมทั้งการนำตัวอย่างตะกอนมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP AES/MS (Bandhu, et. al., 1996) โดยวิธีดังกล่าวนี้สามารถตรวจหาโลหะหนักพวกCu, Ni, Ti, V, Zn, Mn, Al, Fe, Cr และPb เป็นต้น ซึ่งข้อมูลที่ตรวจวัดได้นี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการพิจารณาว่าปริมาณตะกอนโลหะหนักในคลองคูตะเภา มีสหสัมพันธ์กับสมบัติทางแม่เหล็ก(Strzyszc and Magiera,1998)หรือไม่อย่างไร รวมทั้งใช้ในการคาดการณ์ว่าปริมาณตะกอนโลหะหนักมีการเพิ่มขึ้นหรือไม่ในอนาคต

ลักษณะของพื้นที่ศึกษา

1 โครงสร้างทางธรณีวิทยา

โครงสร้างทางธรณีวิทยาของคลองคูตะเภา ซึ่งตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาตอนล่างจรดเขตชายแดนประเทศไทย-มาเลเซีย สามารถจำแนกวัสดุทางธรณีวิทยา (Geologic Material) ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆได้แก่

1.1 กลุ่มหินชั้นและหินแปร (Sedimentary and Metamorphic Rock) ที่พบในพื้นที่นี้โดยมากจะเป็นหินชุดราชบุรี (Ratburi group) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินปูนยุคเพอร์เมียน (Permian) วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ของทะเลสาบสงขลาสลับกับหินชุดตะนาวศรี (Tanaosi group) จำพวกหินโคลนเนื้อปนซิลิกา (Siliceous mudstone) ยุคคาร์บอนิฟอรัส-ดีโวเนียน-ไซลูเรียน (Carboniferous-Devonian- Silurian)

1.2 กลุ่มดินตะกอนใหม่ (Quaternary Deposits) ประกอบด้วยตะกอนน้ำพา (Alluvial Deposits) จำพวกกรวด และทรายซึ่งสะสมตัวในบริเวณร่องน้ำต่างๆที่นำน้ำไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา รวมทั้งตะกอนเศษหินเชิงเขา (Colluvial Deposits) และตะกอนลานตะพักน้ำ (Terrace Deposits) ซึ่งอยู่ถัดมาจากแนวหินยุคเก่าทางด้านตะวันตก ตะกอนส่วนใหญ่เป็น กรวด ทราย ทรายแป้ง

2 พื้นที่เหมืองแร่

แร่ คือ ธาตุหรือสารประกอบอนินทรีย์ที่มีเนื้อเดียวกัน เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบทางเคมี ตลอดจนสมบัติทางเคมี ทางกายภาพและทางแสงเฉพาะตัว แร่อาจประกอบด้วยธาตุเพียงธาตุเดียวเรียกว่า ธาตุธรรมชาติ หรือสารประกอบของธาตุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปเช่น แร่ซัลไฟด์ ซึ่งเป็นสารประกอบของกำมะถัน ตัวอย่างเช่น ตะกั่วกาเลียนา แร่ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบของออกซิเจนเช่น แร่แมกนีไทต์ หรือแรชิลิกเกต ซึ่งเป็นส่วนประกอบของกลุ่มธาตุซิลิกอน เป็นต้น แร่ที่สนใจในที่นี้ได้แก่แร่โลหะและแร่โลหะ ซึ่งแต่ละประเภทแบ่งย่อยออกตามคุณสมบัติดังนี้

2.1 แร่โลหะ แบ่งออกเป็น

2.1.1 แร่โลหะมีค่า ได้แก่ ทองคำ เงิน ทองคำขาว

2.1.2 แร่โลหะที่ไม่ใช่โลหะเหล็ก ได้แก่ แร่ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก และอลูมิเนียม

2.1.3 แร่โลหะเหล็กและแร่โลหะผสมเหล็ก แร่โลหะเหล็กได้แก่ แร่แมกนีไทต์ ฮีมาไทต์ โลมอไนต์ และ ซินคอร์ไรต์

2.1.4 แร่โลหะผสมเหล็ก ได้แก่ แร่ของโลหะแมงกานีส นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม ทังสแตน แมกนีเซียม ปรอท และไทเทเนียม เป็นต้น

2.1.5 แร่โลหะอื่นๆ ได้แก่ แร่ของโลหะพลวง แทนทาลัม อาร์เซนิก เบริลเลียม บิสมัท แคดเมียม แมกนีเซียม ปรอท เรเดียม ยูเรเนียม เป็นต้น

2.2 แร่โลหะ แบ่งออกเป็น

2.2.1 แร่เชื้อเพลิง ได้แก่ถ่านหิน หินน้ำมัน ปิโตรเลียม ซึ่งรวมไปถึงก๊าซธรรมชาติ ก๊าซธรรมชาติเหลว และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ

2.2.2 แร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก ได้แก่ แร่ดินขาว เฟลด์สปาร์ ควอร์ตซ์ บอไซต์ และแอนดาลูไซต์

2.2.3 แร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ได้แก่ ยิปซัม แมกนีไซต์ แร่ใยหิน และยังคงรวมถึงหินต่างๆที่ใช้ประโยชน์ได้เช่น หินแกรนิต หินปูน หินอ่อน หินทราย และหินสบู่

2.2.4 แร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมถลุงโลหะ ได้แก่ แร่ฟลูออไรต์ ไครโอไลต์ แกรไฟต์ บอไซต์ ดินเบา

2.2.5 แร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี ได้แก่แร่เกลือหิน โพแทช บอเรต กำมะถัน ไฟไรต์ เลพิโดไลต์ ฟลูออไรต์ แมกนีไซต์ และแร่ฟอสเฟต

2.2.6 แร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมปุ๋ย ได้แก่ แร่โพแทช ไนเตรต ฟอสเฟต ยิปซัม หินปูนและกำมะถัน

2.2.7 แร่ที่ใช้ในการทำวัสดุขุดถุ ได้แก่ เพชร คอรัันดัม และควอร์ตซ์

2.2.8 แร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมหัตถกรรม ได้แก่แร่ใยหิน ไมกา สปอคูมิน ฟลูออไรต์ แบร์ไรต์ วิเทอไรต์

2.2.9 ทัลก์ เป็นแร่ที่ใช้เป็นตัวเติม(Mineral fillers) ในอุตสาหกรรมต่างๆเช่นการทำสี ยาง กระดาษ และเครื่องสำอางค์ต่างๆ แร่บางชนิดที่ใช้ในการกรองหรือทำให้บริสุทธิ์ เช่น อุตสาหกรรมน้ำมัน น้ำตาล หรืออุตสาหกรรมเครื่องตีพิมพ์ แร่ที่ใช้ประโยชน์ ได้แก่ แร่ดินเบา เบนทอนไนต์ และ บอไซต์

2.2.10 แร่รัตนชาติ ได้แก่ เพชร คอรัันดัม มรกต โทแพซ นิล และ หยก

ในที่นี้จะพบว่ามีเหมืองแร่และแหล่งแร่กระจายอยู่ในบริเวณที่ศึกษาได้แก่ เหมืองแร่ดีบุกในเขตอำเภอนาหม่อม เหมืองแร่ดีบุก-วุลแฟรม ในเขตอำเภอรัตนภูมิ อำเภอนาทใหญ่ แหล่งแร่ดีบุกในเขตอำเภอสะเดา แหล่งหินก่อสร้างในเขตอำเภอนาทใหญ่ และกิ่งอำเภอบางกล่ำ จังหวัดสงขลา และเหมืองแร่ที่ได้เลิกกิจการไปแล้วแต่ยังไม่มีการปรับสภาพให้คืนสู่สภาวะตามธรรมชาติได้แก่พื้นที่เหมืองแร่ดีบุก แร่ดีบุก-วุลแฟรม และวุลแฟรม ในเขตอำเภอนาทใหญ่ อำเภอนาหม่อม และกิ่งอำเภอลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา ดังรูปที่ 1

3 องค์ประกอบของธาตุต่างๆในดิน

ดินมีปริมาณธาตุต่างๆมากมาย แต่ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชจะมีอยู่รวม 16 ชนิด แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อย คือ ธาตุอาหารหลัก มี 6 ชนิดได้แก่ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และ

คาร์บอน ซึ่งได้จากอากาศและน้ำ ส่วนที่ได้จากแร่ธาตุในดินคือ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ธาตุอาหารรองมี 3 ชนิด คือ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ธาตุอาหารเสริม มี 7 ชนิด ประกอบด้วย โบรอน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส สังกะสี โมลิบดินัม และคลอรีน ซึ่งธาตุในกลุ่มหลังนี้ โดยทั่วไปจะกระจายในดินอยู่แล้วในกลุ่มที่จัดเป็นธาตุส่วนน้อย(trace element) และพืชมีความต้องการใช้ธาตุแต่ละตัวไม่มากนัก แต่ก็ขาดเสียไม่ได้

4 ที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง-ใหญ่

พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ซึ่งอุดมไปด้วยทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นตัวแปรสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ ได้แก่ ยางพาราและสัตว์น้ำ ที่มีผลต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมจังหวัดต่างๆ ในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและภาคใต้ มีการเพิ่มของโรงงานอุตสาหกรรมค่อนข้างสูงดังที่แสดงไว้ในรูปที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง-ใหญ่ในพื้นที่ที่ต้องการศึกษา (รูปที่2) จะเห็นว่าโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองสงขลา และอำเภอหาดใหญ่ ตามเส้นทางหลวงแผ่นดินสายสำคัญๆ ซึ่งสะดวกต่อการขนส่งวัตถุดิบป้อนเข้าสู่โรงงานและสะดวกต่อการขนส่งไปสู่ผู้บริโภค ดังรูปที่ 2

อุตสาหกรรมกล่าวมาข้างต้นได้แก่ อุตสาหกรรม-ยางพารา มียางแผ่นรมควัน ยางเครฟ ยางแท่ง ที.ที.อาร์ ยางเส้น น้ำยางข้น กุ้งมือยาง กุ้งพลาสติก เฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารา อุตสาหกรรมอาหารทะเลกระป๋อง อาหารทะเลแช่แข็ง ปลาป่น เป็นต้น ถ้าพิจารณาประเภทและปริมาณน้ำเสียที่แต่ละโรงงานปล่อยออกมาสามารถแจกแจงออกมาได้ดังตาราง 1

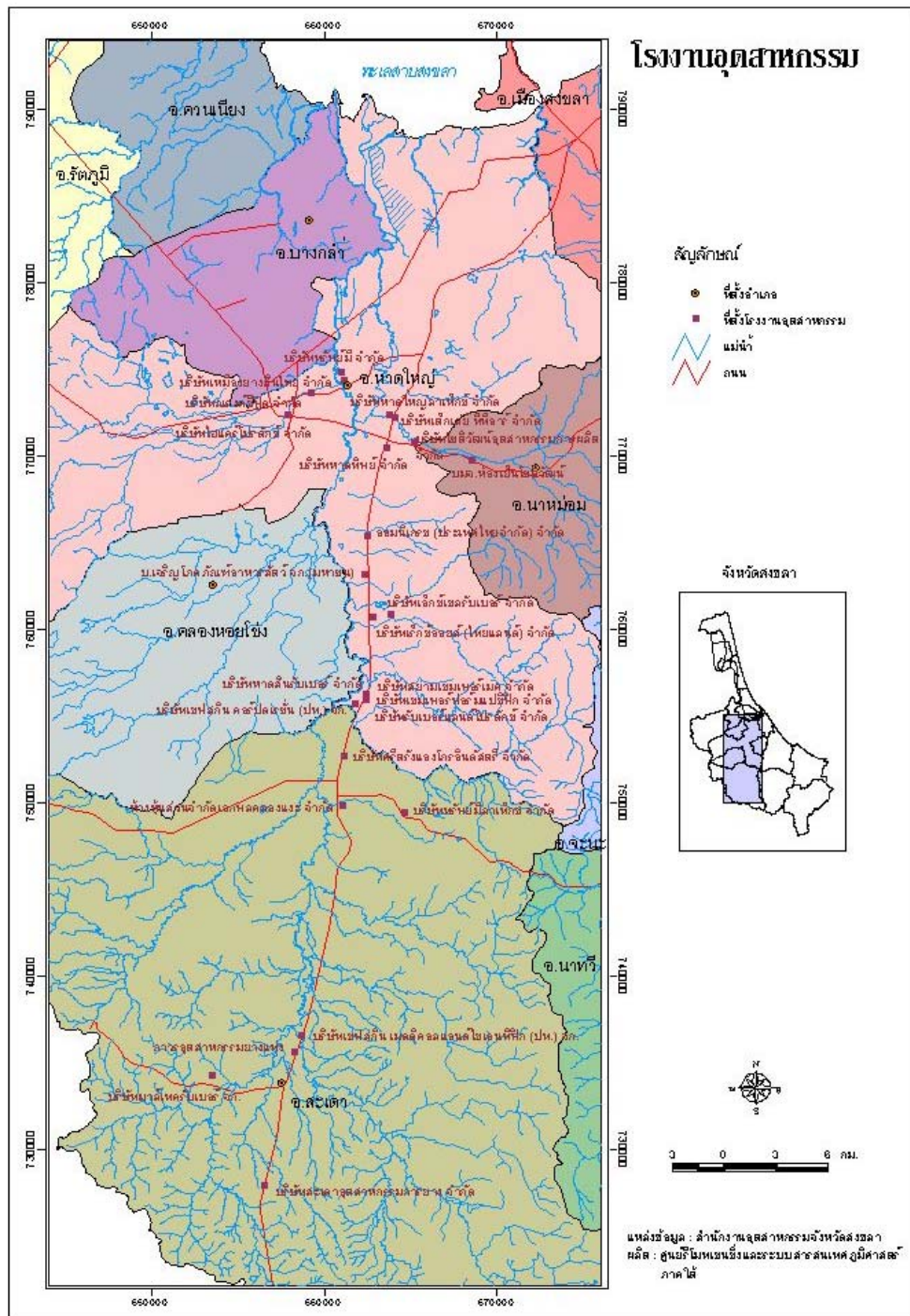
ตาราง 1 จำนวนและประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งปริมาณน้ำเสียโดยประมาณที่ปล่อย

ลงสู่คลองคูตะเภา จังหวัดสงขลา

ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม	จำนวนโรงงาน	ปริมาณน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมา(ลูกบาศก์เมตร/วัน)
ยางแผ่นรมควัน	5	660
ห้องเย็น+อาหารสำเร็จรูป	3	3500
กุ้งมือยาง	8	40060
น้ำยางข้น+ยางแท่งTTR	8	6300
น้ำอัดลม	1	910
ผลิตอาหารสัตว์	1	250
ผลไม้กระป๋อง	1	150
โรงงานปรับปรุงน้ำเสีย	1	1050

ที่มา : สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา

รูปที่ 2 ที่ตั้งโรงงานต่างๆที่มีการระบายน้ำเสียลงสู่คลองต่างๆในจังหวัดสงขลา



4 สภาพภูมิอากาศ

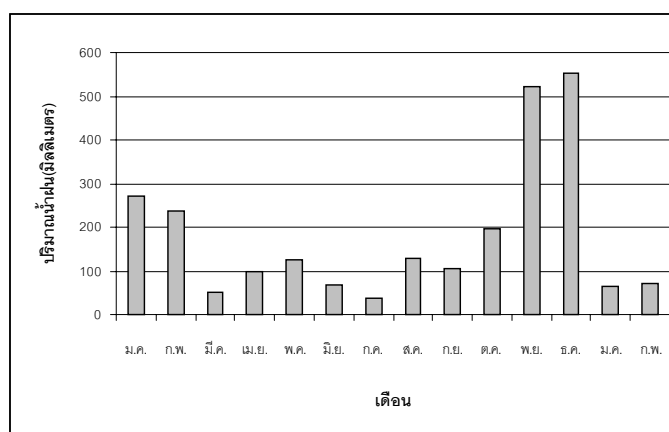
ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาตั้งอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ จึงแบ่งฤดูกาลออกได้เป็น 2 ฤดูคือ ฤดูร้อนและฤดูฝน ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนกรกฎาคม ส่วนฤดูฝนจะเริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนมกราคม โดยฝนจะตกหนักมากที่สุดในเดือนพฤศจิกายน สำหรับในปี 2542 นี้มีปริมาณน้ำฝนที่ตกในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่าค่อนข้างแตกต่างจากฤดูกาลที่ผ่านมา โดยฝนจะตกหนักตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม ซึ่งเป็นเดือนที่เริ่มเข้าสู่ฤดูร้อน ในขณะที่เดือนกรกฎาคม ซึ่งเข้าสู่ฤดูฝนนั้น พบว่ามีฝนตกน้อยกว่าในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ดังกล่าว โดยปริมาณฝนได้เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงเดือนพฤศจิกายนและธันวาคม ดังตาราง 2 และรูปที่ 3

ตาราง 2 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลาปี 2542-2543

	ปริมาณน้ำฝน(มิลลิเมตร)													รวมปี 42	ปี2543	
	ปี2542														ม.ค.	ก.พ
สถานีตรวจวัด	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวมปี	ม.ค.	ก.พ	
อำเภอเมือง	290	467	69	83	139	78	88	213	118	266	500	657	2970	67	90	
อำเภอระโนด	345	238	14	120	191	55	70	112	212	290	572	594	2813	53	183	
เกษตรหาดใหญ่	298	81	154	140	66	134	18	192	119	195	510	548	2455	46	112	
สทิงพระ	208	191	29	64	226	90	54	201	91	209	566	545	2462	71	66	
กระแสสินธุ์	289	285	40	198	114	11	29	50	71	156	534	609	2386	99	79	
ควนเนียง	210	214	20	45	55	36	41	27	34	146	431	352	1611	26	37	
สิงหนคร	249	172	18	40	77	58	40	103	94	104	529	540	2023	73	20	
รวม	1888	1649	347	694	874	468	340	904	739	1375	3655	3857	16720	450	500	
เฉลี่ย	270	236	50	99	125	67	38	129	106	196	522	551	2388	64	71	

ที่มา : ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก

รูปที่3 แผนภูมิปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลาปี 2542-กุมภาพันธ์ 2543



ตรวจเอกสาร

1 มลพิษทางน้ำ

การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรมลงในทะเลสาบสงขลามีสาเหตุสำคัญจากการรับสิ่งปนเปื้อนซึ่งไหลลงมาจากคลองสาขาต่างๆ ที่รับน้ำทั้งจากชุมชนและแหล่งอุตสาหกรรม เช่น จากเทศบาลนครหาดใหญ่ เทศบาลเมืองสงขลา โดยข้อมูลการตรวจวัดน้ำของคลองสำคัญที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา คือ คลองหะและคลองอู่ตะเภา ตั้งแต่ปี 2539-2542 ซึ่งดำเนินการโดยศูนย์วิเคราะห์และทดสอบสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมภาคใต้ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม แสดงผลดังตาราง 3 และ 4

ตาราง 3 คุณภาพน้ำเฉลี่ยบริเวณคลองหะเปรียบเทียบระหว่างปี 2539-2542

จุดที่ตรวจวัด	BOD เฉลี่ย (มก./ล.)				DO เฉลี่ย (มก./ล.)			
	2539	2540	2541	2542	2539	2540	2541	2542
สะพานบ้านคลองหะ	7.1	4.4	5.5	2.0	3.0	5.1	4.7	6.1
สะพานทางหลวงหมายเลข4	5.0	3.4	4.3	2.6	4.3	4.7	5.6	6.0
สะพานบ้านปลักโทง	1.8	1.9	2.2	1.0	6.2	6.1	6.3	5.2
สะพานบ้านควนจง	1.7	1.8	2.1	1.5	6.2	6.4	6.8	6.2
สะพานบ้านทุ่งพระเคียน	1.1	1.1	1.0	1.1	7.1	6.6	6.5	5.8
สะพานบ้านตีนวัด	1.9	1.6	0.4	2.2	6.3	6.1	5.4	6.3
สะพานบ้านทุ่งขมิ้นกลาง	1.4	1.5	1.7	2.5	5.9	6.7	7.1	6.4

ตาราง 4 คุณภาพน้ำเฉลี่ยบริเวณคลองอู่ตะเภาเปรียบเทียบระหว่างปี 2539-2542

จุดที่ตรวจวัด	BOD เฉลี่ย (มก./ล.)				DO เฉลี่ย (มก./ล.)			
	2539	2540	2541	2542	2539	2540	2541	2542
สะพานบ้านคูเต่า	2.7	2.6	2.6	3.0	3.9	2.9	2.8	3.4
สะพานบ้านนารังนก	2.8	2.2	2.5	3.1	3.8	2.6	2.3	4.0
สะพานบ้านแม่ทอม	2.4	2.1	2.3	2.3	3.8	2.7	1.7	4.1
สะพานบ้านรถไฟ	2.5	2.3	2.2	2.2	4.1	2.9	2.0	4.4
สะพานบ้านข้างที่ว่าการอ.หาดใหญ่	2.3	2.6	9.1	-	5.0	4.4	2.1	-
สะพานทางหลวงหมายเลข 43	1.8	2.2	8.7	2.2	5.4	4.8	3.7	4.2
สะพานบ้านพรุ	1.8	2.1	6.6	-	5.6	4.7	3.1	-
สะพานบ้านบางศาลา	2.5	2.6	3.8	2.4	5.7	4.8	4.2	4.3

ที่มา : ศูนย์วิเคราะห์และทดสอบสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมภาคใต้, กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539-2542

จากรายงานการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาตั้งแต่ พ.ศ.2539-2542 ข้างต้นพบว่าคุณภาพโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดี แต่บริเวณริมคลองสายหลักที่เป็นที่ตั้งของชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมที่น้ำจากคลองต่างๆไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลามีคุณภาพน้ำโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่เสื่อมโทรมโดยเฉพาะคุณภาพน้ำในคลองสำโรง คลองคูตะเกา และบางส่วนของคลองหระ ทั้งนี้มีสาเหตุและแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญคือ

1. น้ำเสียจากชุมชน เกิดจากกิจกรรมต่างๆภายในครัวเรือน ธุรกิจบริการประเภทต่างๆทั้งนี้ แหล่งชุมชนส่วนใหญ่จะปล่อยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดลงสู่คลองสายหลักในปริมาณที่แตกต่างกันไป ซึ่งจำนวนครัวเรือนทั้งหมดภายในจังหวัดสงขลา รวม 266,172 หลังคาเรือน โดยเฉพาะแหล่งที่มีชุมชนตั้งอยู่หนาแน่น คือ อำเภอหาดใหญ่ รองลงมาคือ อำเภอเมืองสงขลา

2. น้ำเสียจากอุตสาหกรรม ในปี 2540 จังหวัดสงขลามีโรงงานที่ได้รับอนุญาตประกอบการทั้งสิ้น 1,602 โรงงาน โดยมีการกระจายตัวอยู่ในอำเภอหาดใหญ่มากที่สุดถึง 629 โรงงาน รองลงมาคือ อำเภอเมือง อำเภอระโนด อำเภอรัตนภูมิ อำเภอสิงหนคร อำเภอสะเดา และอำเภอสะทิงพระ จากการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมนี้เอง ปัญหามลภาวะที่เกิดจากการระบายน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆลงสู่ทะเลสาบสงขลาโดยตรง และผ่านคลองต่างๆ(คลองคูตะเกา คลองเตย คลองน้ำน้อย คลองหระ คลองสำโรง คลองวง และคลองแพรกสุวรรณ) รวมทั้งสิ้น มากกว่า 40 โรงงาน โดยภาพรวมสรุปได้ว่าโรงงานส่วนใหญ่ได้แก่ โรงงานผลิตภัณฑ์อาหารทะเล โรงงานอาหารแช่แข็ง และห้องเย็น และโรงงานอุตสาหกรรมจากไม้ยางพารา ซึ่งในปี 2542 คลองคูตะเกา และ คลองหระ รับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมากถึง 41,000 และ 4,880 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ

สมศักดิ์ มณีพงศ์ และ เสาวภา อังสุภาณิช (2542) ได้ศึกษาหาปริมาณโลหะหนักในตะกอนท้องน้ำ (Bottom Sediment) ในทะเลสาบสงขลาตอนนอก รวมทั้งในคลองคูตะเกาและ คลองพะตงด้วยวิธี ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry) พบว่าความเข้มข้นโลหะหนักพวก As, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Pb, Cr และสารหนูที่พบต่ำกว่าระดับที่เป็นพิษ

2 การตรวจหาแร่แม่เหล็กและโลหะหนักในดินตะกอนท้องน้ำ

2.1 การวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility)

วิธีการวัดค่า magnetic susceptibility สามารถนำมาใช้ในการศึกษาสัมพันธ์ระหว่างค่า magnetic susceptibility กับปริมาณโลหะหนักได้เช่นงานของ Chan, et al. (1998) ได้ศึกษาหาสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก กับ ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในทรายใต้ทะเล

บริเวณที่จุดเรือของเกาะฮ่องกง ใกล้กับเกาะ Lantau พบว่าผลที่ได้สามารถบอกการกระจายตัวของโลหะหนักในบริเวณดังกล่าว

ในการทำงานเดียวกันสามารถนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับขนาด grain ดังเช่นงานของ Charlesworth and Lees (1996) ได้ใช้วิธีข้างต้นในการตรวจหาความเกี่ยวข้องกันระหว่างแร่แม่เหล็กที่พบในทะเลสาบกับฝุ่นที่ถูกพัดพาไปตกตะกอนในทะเลสาบ เมือง Coventry ประเทศอังกฤษ เขาพบว่าตัวอย่างดินตะกอนที่ขนาด น้อยกว่า 2 mm. จะมีความเกี่ยวข้องกันของ แร่แม่เหล็กในทะเลสาบกับฝุ่นที่ถูกพัดพามาตกตะกอนในทะเลสาบ แต่จะไม่พบความเกี่ยวข้องกันในขนาด น้อยกว่า 63 μm .

รวมทั้งงานของ Han and Jiang (1999) ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของ grain size กับค่า magnetic susceptibility ใน Chinese Loess และ Paleosol โดยการเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณ Jixian , Xifeng และ Xining แล้วนำมาแยกขนาด grain พบว่าสัดส่วนโดยมวลเทียบกับค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในแต่ละขนาดมีความสัมพันธ์กัน สามารถสรุปได้ว่าขนาดที่แตกต่างกันของ grain size มีผลต่อค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กขึ้นอยู่กับว่าโลหะหนักดังกล่าวมีขนาดอยู่ใน grain size ช่วงใด

งานของ Kapicka , et. al. ที่อาศัยการตรวจวัดค่า magnetic susceptibility มาพิจารณาการกระจายของโลหะหนักที่ปะปนมากับเถ้าถ่านจากโรงไฟฟ้าถ่านหินในสาธารณรัฐ Czech เนื่องจากแหล่งเชื้อเพลิงที่ใช้อุดมไปด้วยแร่ ferromagnetic โดยการเก็บตัวอย่างดินรอบๆโรงไฟฟ้ามาตรวจวัดค่า magnetic susceptibility ผลที่ได้สามารถบอกการกระจายตัวของโลหะหนักได้ในรูปของคอนทัวร์

งานของ Strzyszcz and Magiera (1998) ที่ตรวจวัดค่า magnetic susceptibility ของโลหะหนักจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนในดินทรายบริเวณ ภาคใต้ของประเทศโปแลนด์ เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักกับค่า magnetic susceptibility ซึ่งเขาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่พบมีค่ามากกับปริมาณความเข้มข้นโลหะหนักธาตุ นิกเกิล(Ni) และสังกะสี(Zn) รวมทั้งพบธาตุโลหะหนักอื่นๆที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากรองลงมาอีกหลายชนิด

ในการทำงานเดียวกัน Petrovsk'y , et. al. ได้มีการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบทางเคมีที่เป็นพิษจากโรงงานกับสมบัติทางแม่เหล็กจากดินตะกอนในทะเลสาบ Nechranice บริเวณทางเหนือของ Bohemia พบว่าปริมาณสารพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดที่มีสหสัมพันธ์กับสมบัติทางแม่เหล็กค่อนข้างชัดเจนเช่น แมงกานีส(Mn) แคดเมียม(Cd) และ สารหนู(As) เป็นต้น

2.2 วิธี Isothermal Remanent Magnetization (IRM) และ การตรวจหาค่าการลบล้างทางแม่เหล็ก (coercivity of remanence) โดยวิธี Back field

Peters and Turner (1999) ศึกษาที่มาของแหล่งแร่จากดินตะกอนที่พัดพามาถึงที่จุดรองรับน้ำฝนของทะเลสาบ Paringa (Lake Paringa catchment) South Island , New Zealand โดยนำดินตะกอนจากทิศตะวันตกและทิศตะวันออกของรอยเลื่อน Alpine มาตรวจวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility) เปรียบเทียบกับค่าที่เก็บได้จากในทะเลสาบ รวมทั้งนำไปทดสอบหาสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กโดยใช้วิธี IRMs (Isothermal Remanent Magnetizations) และ ARMs (Anhysteretic Remanent Magnetizations) ซึ่งผลที่ได้พบว่ามีแร่เหล็กที่มาจากแหล่งกำเนิดทางทิศตะวันตก และทิศตะวันออกของรอยเลื่อน Alpine ปนอยู่ในดินตะกอนที่ถูกพัดพามากับน้ำ รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแร่จากทิศตะวันตกและทิศตะวันออกทำให้เกิดหินชนิดใหม่มีชื่อเรียกว่า greigite

Peters and Thompson (1997) ได้ทำการตรวจวัดค่า initial susceptibility , remanent magnetizations และ hysteresis loops ที่อุณหภูมิห้องในช่วงของ iron oxides และ sulphides เพื่อนำมาเป็นค่ามาตรฐานเชิงคุณภาพในการระบุชนิดของแร่ โดยศึกษาคุณสมบัติทางแม่เหล็กข้างต้นจากแร่ magnetite , titanomagnetite , haematite , pyrrhotite และ greigite จะได้ กราฟ biplot ที่ใช้จำแนกชนิดของแร่แม่เหล็กได้ รวมทั้งพบว่ามีความเป็นไปได้ที่สามารถจะแยก titanomagnetite ที่มาจาก magnetite ได้โดยพิจารณาจากค่า susceptibility และ remanence ratio

Hay , et. al. (1997) ศึกษาหามลพิษและโลหะหนักในอากาศของประเทศอังกฤษด้วยวิธีการวัดค่า magnetic susceptibility ทั้งแบบ Low และแบบ High frequency รวมทั้งค่า SIRM (Saturation Isothermal Remanent Magnetization) , ARM , IRM back field และค่า S-ratio ของดินจากผิวดิน ซึ่งผลที่ได้พบว่าปัจจัยต่างๆทางแม่เหล็กที่ใช้มีความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักที่พบดังนั้นท้ายที่สุดสามารถบอกได้ว่ามีโลหะหนักปนอยู่ในเปลือกดินชั้นบนสุดมีสูงกว่าค่ามาตรฐาน

2.3 การศึกษาแอนไอโซโทรปีของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก

Hrouda and Janak (1976) ใช้วิธี Anisotropy of magnetic susceptibility ศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ magnetic susceptibility ellipsoids เนื่องจากความร้อนในดินตะกอนจากเพือกเขา Nizky Jesenik ว่าโครงสร้างของ ellipsoids มีการอ่อนไหวและมีการเสียรูปร่างไว้

รวมทั้งงานของ Sagnotti , et al. (1998) ได้ใช้วิธี Anisotropy of magnetic susceptibility ศึกษา magnetic fabric ของดินตะกอนดินเหนียว (clay sediment) จากทางทิศเหนือของเทือกเขา Apennines เพื่อศึกษาว่าลักษณะ fabric ของดินตะกอนดินเหนียวที่พบมาจากแหล่งใดในเทือกเขา เนื่องจากมีการพบแร่ที่มี paramagnetic ปะปนอยู่ในดินตะกอนดินเหนียว โดยมีการนำผลมาเปรียบเทียบกับส่วนน้อยของแร่ ferrimagnetic ที่พบก่อนหน้านี้

2.4 การหาลายพิมพ์รังสีเอกซ์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Energy Dispersive X-ray Fluorescence Analysis (EDXRF) และการวิเคราะห์ด้วยวิธี Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)

Hashim , et al. อาศัยการวิเคราะห์ผลจาก EDXRF ตรวจสอบสารตะกั่วและสารพิษอื่น ๆ ที่ปนอยู่ในทรายริมถนนบนสองถนนสายหลักของ KENYA ซึ่งสามารถบอกได้ว่าตัวอย่างที่เก็บมาประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง

งานของ Bandhu , et al. ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ผลจาก EDXRF ตรวจสอบมลพิษทางอากาศในเมืองของ Chandigarh , India โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นและซี้เก้ที่เก็บในเมืองแล้วนำมาพิจารณาร่วมกับปัจจัยอื่น ๆ ที่เป็นไปได้ว่าจะเป็แหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศเช่น ควันไอเสียจากรถหรือซี้เก้จากการเผาขยะเป็นต้น

Somogyi , et. al. วิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก Nagy-Mohos , Northeast Hungary ด้วยวิธี ICP-AES ซึ่งพวกเขาแยกวิเคราะห์ตัวอย่างซี้เก้จากดินที่อุณหภูมิ 500 และ 900 องศาเซลเซียส แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับ standard ของ Mn , Zn และ Sr เป็นต้น

3 ทฤษฎีเกี่ยวกับคุณสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.1 ค่า Magnetic Susceptibility แบบ Low field

เป็นสมบัติทางฟิสิกส์ชนิดหนึ่งของวัสดุ ซึ่งสามารถใช้ในการจำแนกชนิดของแร่แม่เหล็ก (Magnetic Minerals) ที่มีอยู่ในหินหรือดินได้ การวัดค่า magnetic susceptibility แบบ low field จะทำการวัดใน Applied magnetic field ที่มีค่าต่ำกว่า 1 mT หรือ 800 A/m ทั้งในสนามชนิดสนามแม่เหล็กตรง (Direct field) หรือ สนามแม่เหล็กสลับ (Alternating field) ซึ่งค่า magnetic susceptibility ในที่นี้นิยามได้ด้วยสมการ (1)

$$M = k H \quad \dots\dots\dots(1)$$

M = ผลรวมของ magnetic dipole moment ต่อมวลหรือปริมาตรของตัวอย่างที่ศึกษา

H = applied field

k = susceptibility

ค่า magnetic susceptibility สามารถแยกออกได้เป็นสองชนิดคือ

1. Volume susceptibility (k)
2. Mass susceptibility (χ)

ซึ่งค่า k จะไม่มีหน่วยในระบบ SI แต่ χ มีหน่วยเป็น m^3kg^{-1} ถ้าพิจารณาสมการแยกย่อยจะได้ดังนี้

Volume susceptibility (k) ในการวัดค่าจะมีการกำหนดให้ปริมาตรของตัวอย่างที่จะวัดมีค่าคงที่ทั้งหมดสามารถนิยามด้วยสมการ (2)

$$M_v = kH \quad \dots\dots\dots(2)$$

M_v = Volume magnetization (Am^{-1}) คือ ผลรวมของ magnetic dipole moment ต่อปริมาตรของตัวอย่าง

H = Applied field (Am^{-1})

Mass susceptibility (χ) ในการวัดค่าจะกำหนดให้มวลของตัวอย่างที่จะวัดมีค่าคงที่ทั้งหมดสามารถนิยามด้วยสมการ (3)

$$J = \chi H = \chi B / \mu \quad \dots\dots\dots(3)$$

J = Mass magnetization ($\text{Am}^2\text{kg}^{-1}$) คือผลรวมของ magnetic dipole moment ต่อมวลของตัวอย่าง

B = Applied field (Wb.m^{-2})

μ = สภาพซึมซาบทางแม่เหล็ก (magnetic permeability)

โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาคุณสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กจากค่า Volume susceptibility

3.2 Isothermal Remanent Magnetization (IRM) คืออำนาจแม่เหล็กตกค้างที่อุณหภูมิคงที่ (อุณหภูมิห้อง) ที่เกิดเนื่องจากการตกอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็ก(DC field)แรงสูงชั่วขณะหนึ่ง เช่น เกิดจากฟ้าผ่า(กระแสมากถึง 10^4 A) สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะสูงถึง 100 mT ซึ่งในที่นี้อาศัยการวัดค่า magnetization ที่เกิดจากการที่หินตกอยู่ในอิทธิพลของสนามแม่เหล็กขนาดแรงมากในช่วงสั้นๆเป็นพัลส์ที่อุณหภูมิปกติ ในการทดลองในห้องปฏิบัติการจะใช้ Electromagnet เป็นแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กแรงสูงโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ (เปิด-ปิด อย่างรวดเร็ว) จะเกิดสนามแม่เหล็กเป็นพัลส์คล้ายคลึงกับการเกิดฟ้าผ่าจะก่อให้เกิด IRM ต่างๆ จะพบว่า magnetic dipole moment จากที่เริ่มต้นที่ไม่ได้ถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กแรงสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงจนสภาพของ magnetic dipole moment มีการจัดเรียงตัวตามทิศทางของสนามแม่เหล็กภายใน

นอกจากนี้เป็นระเบียบขึ้นจนไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ สภาพดังกล่าวเรียกว่า เกิด Saturation Isothermal Remanent Magnetization (SIRM)

3.3 นิยามของวัสดุต่างๆทางแม่เหล็กและแร่แม่เหล็ก

3.3.1 วัสดุพาราแมกเนติก (Paramagnetic material) คือวัสดุที่เมื่อวางในสนามแม่เหล็กแล้วเกิดโมเมนต์ไดโพลแม่เหล็กทันที ซึ่งเป็นผลมาจาก atomic magnetic dipole มีการจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กภายนอก แต่โมเมนต์ไดโพลแม่เหล็กมีค่าน้อยกว่าค่าสูงสุดที่เป็นไปได้อยู่มากจนทำให้มีปฏิกิริยาแบบอ่อนกับสนามแม่เหล็ก ซึ่งสภาวะแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะคงอยู่ตราบใดที่ยังมีสนามแม่เหล็กภายนอก และค่า magnetic susceptibility มีค่าเป็นบวก เช่น fayalite เป็นต้น

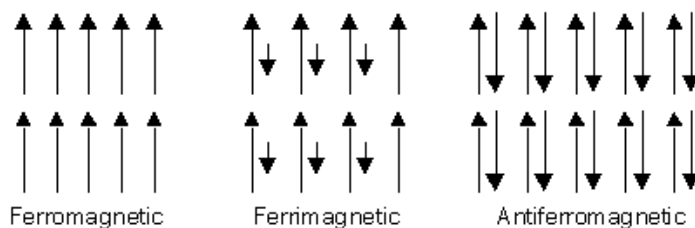
3.3.2 วัสดุไดอาแมกเนติก (Diamagnetic material) คือวัสดุที่เมื่อวางไว้ใกล้ขั้วของแม่เหล็กแรงสูง แล้วถูกผลักออกจากขั้วแม่เหล็ก เป็นผลมาจาก atomic magnetic dipole ภายในมีทิศสวนทางกับสนามแม่เหล็กภายนอก ซึ่งตรงกันข้ามกับสภาวะพาราแมกเนติก (Paramagnetism) ซึ่งมีไดโพลแม่เหล็กไม่ว่าจะมีสนามแม่เหล็กภายนอกหรือไม่ ถ้ามีสนามแม่เหล็กภายนอกอยู่ไดโพล แม่เหล็กก็จะพยายามอยู่ในแนวเดียวกับสนามแม่เหล็กภายนอก โดยค่า magnetic susceptibility ของวัสดุไดอาแมกเนติกมีค่าเป็นลบ เช่น quartz . SiO_2 , H_2O เป็นต้น

3.3.3 วัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) คือ วัสดุที่มีปฏิกิริยาอย่างแรงกับสนามแม่เหล็กภายนอก ซึ่งเป็นวัสดุที่มีธาตุที่ทำให้เป็นแม่เหล็กง่ายและกลายเป็นแม่เหล็กแรงสูง ณ อุณหภูมิห้องเป็นองค์ประกอบ โดยวัสดุเหล่านี้จะยังคงแสดงอำนาจแม่เหล็กหรือสามารถเก็บรักษาทิศทางของ applied field ไว้ได้แม้จะเอาสนามแม่เหล็กภายนอกออกไปแล้ว แต่สภาวะเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetism) จะหายไปและกลายเป็นสภาวะพาราแมกเนติกทันทีที่อุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิวิกฤตเรียกว่า อุณหภูมิคูรี (Curie temperature , T_c) โดยค่า magnetic susceptibility จะมีค่าสูงกว่า วัสดุพาราแมกเนติกมาก

3.3.4 สภาวะเฟอร์ริแมกเนติก (Ferrimagnetism) และ สภาวะแอนติเฟอร์โรแมกเนติก (Antiferromagnetism) โดยมากแร่แม่เหล็กในธรรมชาติจะประกอบด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติของทั้งสองชนิด ดังรูปที่ 4 ชนิดแรกเกิดจากการที่ magnetic dipole moment ของไอออนต่างชนิดกันไม่เท่ากันและมีทิศทางสวนกัน แต่มีการปรับแนวกันให้ทำให้เกิดโมเมนต์ไดโพลแม่เหล็กสุทธิ (net magnetic dipole moment) ในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเรียกว่า วัสดุที่มีพฤติกรรมดังกล่าวว่า เฟอร์ไรต์ (ferrites) ส่วนสภาวะแอนติเฟอร์โรแมกเนติก มีลักษณะคือเมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกมากจะทำให้ magnetic dipole moment ของวัสดุจะมีการปรับแนวให้มาอยู่ในทิศตรงกันข้ามกัน เรียกวัสดุดัง

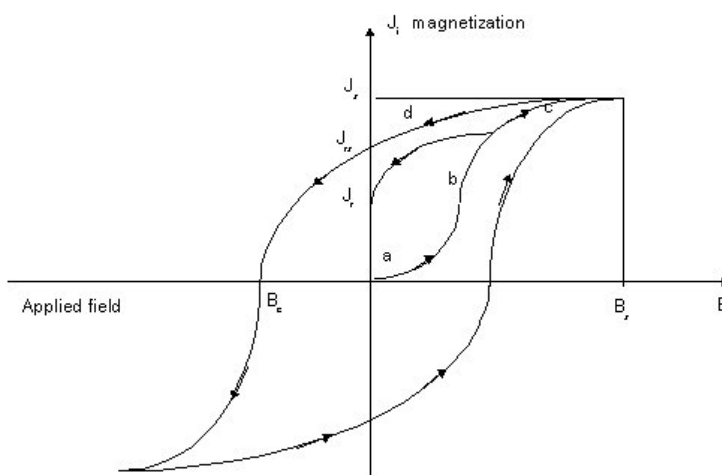
กล่าวว่า วัสดุแอนติเฟอร์โรแมกเนติก (antiferromagnetic material) ธาตุที่เป็นวัสดุพวกนี้ได้แก่ Mn และ Cr เป็นต้น

รูปที่ 4 การวางตัวของ magnetic dipole moment ในวัสดุแม่เหล็กชนิดต่างๆ เมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกกระทำ



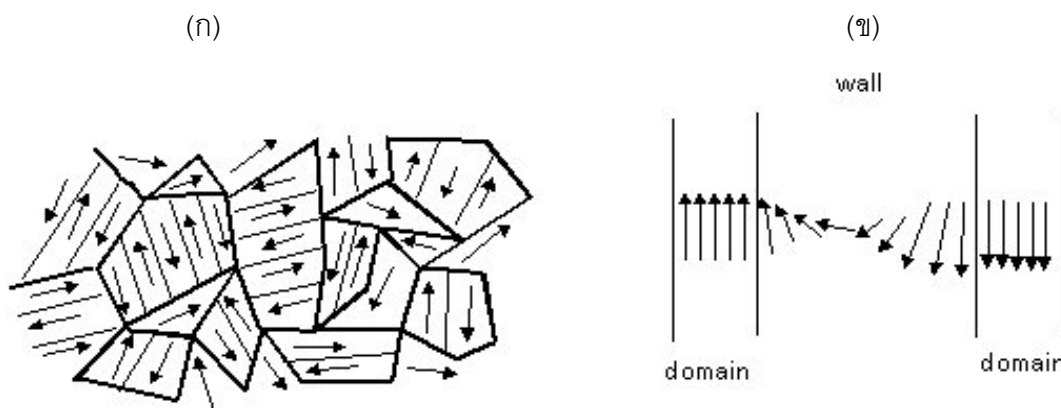
3.3.5 วงฮิสเทอรีซิสของวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (Hysterisis loop of ferromagnetic sample) เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า magnetization เนื่องจากการเหนี่ยวนำวัสดุ ferromagnetic ด้วยสนามแม่เหล็กภายนอก ซึ่งลักษณะเส้นกราฟจะไม่มีจุดเริ่มต้นที่จุดกำเนิด (รูปที่ 5 เริ่มต้นยังไม่มีสนามแม่เหล็กให้กับตัวอย่าง ต่อมาเพิ่มสนามแม่เหล็ก +B ($B = \mu_0 H$) ให้กับตัวอย่างเป็นการเหนี่ยวนำให้ตัวอย่างมีค่า magnetization, J_i มีเพิ่มขึ้น (ส่วนของ a ในรูปที่ 5) โดย J_i นี้เกิดจากการที่สนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไปทำให้ atomic dipole moment ที่มีการรวมตัวกันเป็น domain มีการหมุน รวมทั้งมีการจัดเรียงตัวในทิศเดียวกับสนามแม่เหล็กภายนอกที่ใส่เข้าไป ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กเล็กๆภายในตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มสนามแม่เหล็กภายนอกจนถึงค่าหนึ่งค่า magnetization จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดจุดหนึ่งซึ่ง domain wall เริ่มมีการจัดเรียงตัวตามทิศทางของสนามแม่เหล็กโดยไม่สามารถกลับมาสู่สภาพเดิม(ส่วน b) สุดท้ายเมื่อ domain wall ที่มีการหมุนเริ่มมีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้นอัตราส่วนระหว่างค่า J_i กับ B/μ_0 นั่นคือค่า susceptibility (สมการ (3))จะมีค่าเพิ่มขึ้น

รูปที่ 5 J_i -B Hysterisis loop ของวัสดุ เฟอร์โรแมกเนติก (ที่มา : Collinson , 1983 : 59)



เมื่อมีการใส่สนามแม่เหล็กเพิ่มจนถึงค่าสูงสุด (ส่วนc) ที่ตำแหน่งดังกล่าวค่า magnetization จะมีค่าที่คงที่ คือค่า saturation magnetization, J_s จากนั้นทำการลดสนามแม่เหล็กภายนอกจากตำแหน่งที่เกิด J_s ที่ $B = 0$ ค่า magnetization ที่ตำแหน่งดังกล่าวคือ ค่า saturation isothermal remanence, J_{rs} ถ้าลด B จนถึงศูนย์ แต่ถ้าเราลดสนามแม่เหล็กก่อนที่ค่า J_i จะถึงตำแหน่ง J_s ตามเส้นประเมื่อลด B จนถึงศูนย์จะได้ค่า magnetization เป็นค่า isothermal remanence (IRM), J_r ที่ $B = 0$ ถ้าเพิ่มสนามแม่เหล็กภายนอกในทางกลับค่า J_i จะตกลงบนแกนสนามที่ตำแหน่งที่ $J_i = 0$ ที่สนามเท่ากับ $-B$ เราเรียกค่าสนาม B ดังกล่าวว่า แรงลบล้างแม่เหล็ก (coercive force, B_c) เมื่อเพิ่ม $-B$ จนถึงค่า $-B_s$ จากนั้นก็จ่ายสนามจาก $-B_s \rightarrow 0 \rightarrow B_s$ จะได้วงฮิสเทอรีซิสของวัสดุซึ่งสามารถบอกได้ว่าวัสดุนั้นเป็นวัสดุแม่เหล็กอ่อนหรือวัสดุแม่เหล็กแกร่ง ในทางปฏิบัติการวัดค่าการลบล้าง (coercivity) ทางแม่เหล็ก ใน rock magnetism จะพิจารณาจากค่า coercivity of remanence, H_{cr} หรือ B_{cr} โดยหาได้จากใส่ค่าสนามในทิศทางตรงกันข้าม จากค่า J_r จนถึงค่า $J_r = 0$ เทียบได้กับการลบล้างจากค่าสภาวะตกค้างสูงสุด J_{rs} ด้วยสนามในทิศตรงกันข้าม (back field) จน $J_{rs} = 0$

รูปที่ 6 (ก) ลักษณะของ domain ที่มีการแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ , (ข) ลักษณะของผนัง domain ที่เกิดขึ้นระหว่าง domain ที่มีความแตกต่างกันของทิศทาง magnetic dipole moment (ที่มา : Thompson and Oldfield ,1986 : 8)

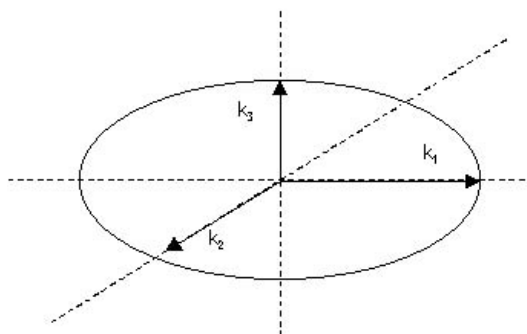


3.3.5 Domains และ domain walls

จากลักษณะ hysteresis loop ของวัสดุ ferromagnetic จะพบว่าตัวแปรที่มีผลให้เกิดกราฟดังกล่าวมาจาก domain จำนวนมากมายในตัววัสดุ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมคุณสมบัติต่างๆทางแม่เหล็กในธรรมชาติ หลักการของ magnetic domain สามารถอธิบายได้จากเกิดขึ้นเองของ magnetization ในวัสดุมากมาย ซึ่งมีการแบ่งแยกขอบเขตของไดโพลแม่เหล็กภายในวัสดุเป็น domain มากมาย domain ที่พบอาจจะมืองค์ประกอบของไดโพลแม่เหล็กที่มีการวางตัวใน

ทิศเดียวหรืออาจจะมีการวางตัวในทิศทางแบบสุ่ม ดังรูปที่ 6(ก) โดยผลรวมของ magnetization ของ domain จะมีค่าเท่ากับศูนย์ จากการหักล้างกันหมดทาง vector ของค่า magnetization ความหนาของ domain walls มีค่าที่ขึ้นอยู่กับจำนวน atomic magnetic dipole ที่มีการสร้างอำนาจหักงูของโมเมนต์แม่เหล็กในแต่ละ domain ที่อยู่ชิดติดกันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ magnetic spin ระหว่าง domain ดังรูปที่ 6(ข) โดยการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของ domain บริเวณผนังมีผลให้พลังงาน 2 ชนิดเปลี่ยนแปลงไปด้วยคือ พลังงานแลกเปลี่ยน (exchange energy) กับ พลังงานแมกนีโทคริสทอลล์แอนไอโซโทรปี (magnetocrystalline anisotropy energy)

3.3.6 แอนไอโซโทรปีของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Anisotropy of Magnetic Susceptibility) ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก เมื่อทำการวัดในสนามความเข้มต่ำจะเป็นปริมาณที่เรียกว่าเทนเซอร์อันดับที่ 2 (second rank tensor) ซึ่งสามารถแทนได้ด้วย ellipsoid ที่เรียกว่า susceptibility (Jelinek, 1977) สภาพแอนไอโซโทรปีของค่า k ขึ้นอยู่กับ fabric ของแร่ ferrimagnetic ชนิด cubic หรืออาจเกิดจากทิศทางการวางตัวของโครงสร้างผลึกของเม็ดแร่กลุ่ม ferrimagnetic ชนิด non-cubic ข้อมูลแอนไอโซโทรปีแม่เหล็กของแต่ละตัวอย่างแสดงได้ด้วยการกราฟที่เรียกว่า F-L diagram กราฟดังกล่าวนำเสนอครั้งแรกโดย Horouda and Janak (1976) มีลักษณะคล้ายกับการพล็อตการเสียรูปของ (deformation plot) ซึ่งปกติใช้ในการศึกษาลักษณะโครงสร้าง จากรูปที่ 7 ค่า magnetic lineation L เท่ากับ k_1/k_2 ถูกพล็อตกับ magnetic foliation F เท่ากับ k_2/k_3 เมื่อ k_1, k_2, k_3 แทนค่า k สูงสุด ค่ากลาง และค่าต่ำสุด ค่าความชันของเส้นตรงที่ลากผ่านจุดเริ่มต้นเป็นค่า degree of magnetic anisotropy คือ $P = k_1/k_3$ ซึ่งเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 1 ลากผ่านจุดเริ่มต้นเป็นการแบ่งแยกกราฟของ prolate susceptibility ellipsoids (rods) ออกจาก oblate ellipsoids (disks) รวมทั้งพิจารณาค่า degree of anisotropy P' พล็อตกับค่า shape parameter T ถ้า T เข้าใกล้ +1 แสดงว่ามีรูปร่างแบบ oblate (disks) ถ้า T เข้าใกล้ -1 แสดงว่ามีรูปร่างแบบ prolate (rods) แต่ถ้ามีค่า T เข้าใกล้ค่า 0 จะมีรูปร่างแบบ triaxial (neutral ellipsoids) ส่วนค่า P' จะเป็นตัวบอกลักษณะการยืดตัวหดตัวของ ellipsoids รูปที่ 7 ลักษณะและองค์ประกอบของ susceptibility ellipsoids



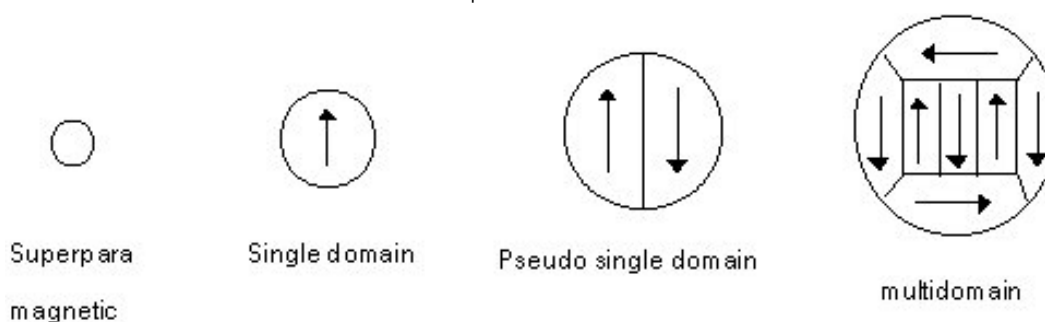
3.3.7 Superparamagnetic (SPM) เกิดจากการฟอร์มตัวของโมเลกุล 1 โมเลกุลภายใต้สนามแม่เหล็กจนเกิดเป็นวัสดุแม่เหล็กซึ่งมีค่า remanent magnetization ที่ไม่เสถียรจนเข้าสู่สถานะที่เป็น superparamagnetic ซึ่งมีพฤติกรรมที่เกิดจากการวางตัวในสนามแม่เหล็กคล้ายกับ Ferromagnetic แต่มีค่า Relaxation time ที่น้อยกว่า Ferromagnetic มากมีค่าอยู่ในระดับวินาที รวมทั้งมีค่า magnetization และมีค่า susceptibility ที่มากกว่า วัสดุ Paramagnetic โดยวัสดุ superparamagnetic จะมีขนาด grain เล็กมาก รวมทั้งค่า magnetization จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีขนาด grain ที่ใหญ่ขึ้นแต่ค่า susceptibility จะลดลงเมื่อมีขนาด grain ที่ใหญ่ขึ้น โดยขนาด grain จะโตขึ้นจนถึงระดับหนึ่งจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงจาก superparamagnetic ไปเป็น single-domain ดังรูปที่ 8

3.3.8 Single-domain(SD) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของ grain size ของ superparamagnetic ที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นและมีการเกิดขั้ว dipole ขึ้นใน domain ดังรูปที่ 8 โดย magnetic dipole moment ที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นจะมีทิศของ dipole เพียงทิศทางเดียว ค่า remanent magnetization เริ่มมีค่าเสถียรมากขึ้น

3.3.9 Pseudo-single domain (two domain)(PSD) เกิดจากการโตขึ้นของ Single-domain เป็น two domain มีทิศของ magnetic dipole moment ที่ตรงกันข้ามกันดังรูปที่ 8 โดยมี domain wall เป็นตัวกั้นระหว่าง dipole ทั้งสอง ค่า magnetization จะมีน้อยมากๆ เนื่องจาก magnetic dipole moment มีทิศตรงกันข้ามกัน

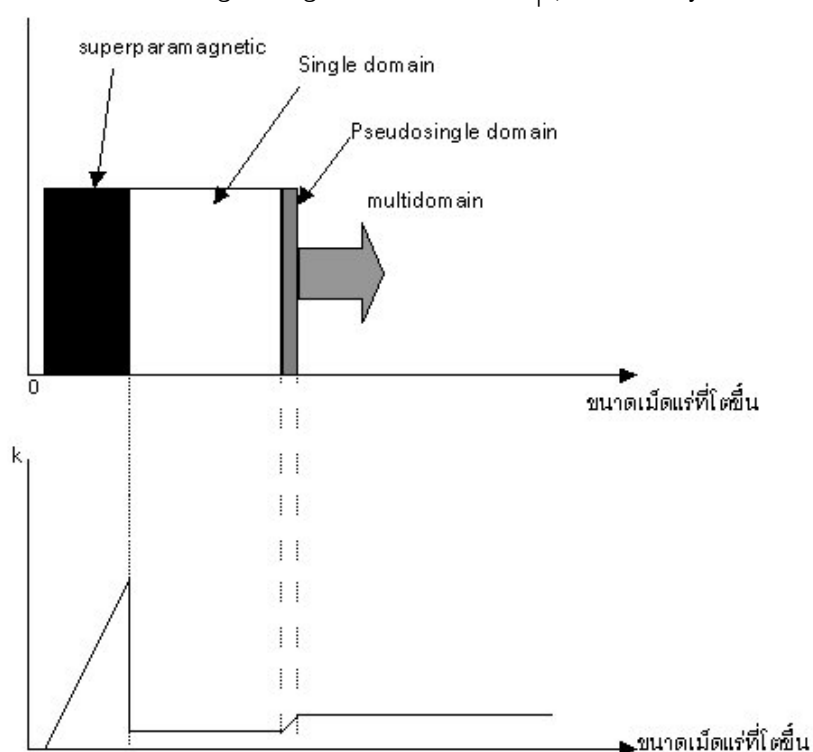
3.3.10 Multidomain(MD) เกิดจากการโตขึ้นของ two domain และมีการจับตัวกันเป็นหลายๆ domain จนมีขนาด grain size ที่ใหญ่ขึ้นโดยการวางตัวของคู่ dipole จะมีลักษณะที่เป็นระเบียบและไม่เป็นระเบียบปะปนกันซึ่งมี domain wall เป็นตัวกั้นระหว่าง dipole ทั้งหมดดังรูปที่ 8 ซึ่งค่า magnetization ของ Multidomain เป็นค่าลัพท์ของทั้งระบบ

รูปที่ 8 ชนิดของ Magnetic grain ชนิดต่างๆ(ที่มา : Reilly , 1984 : 95)



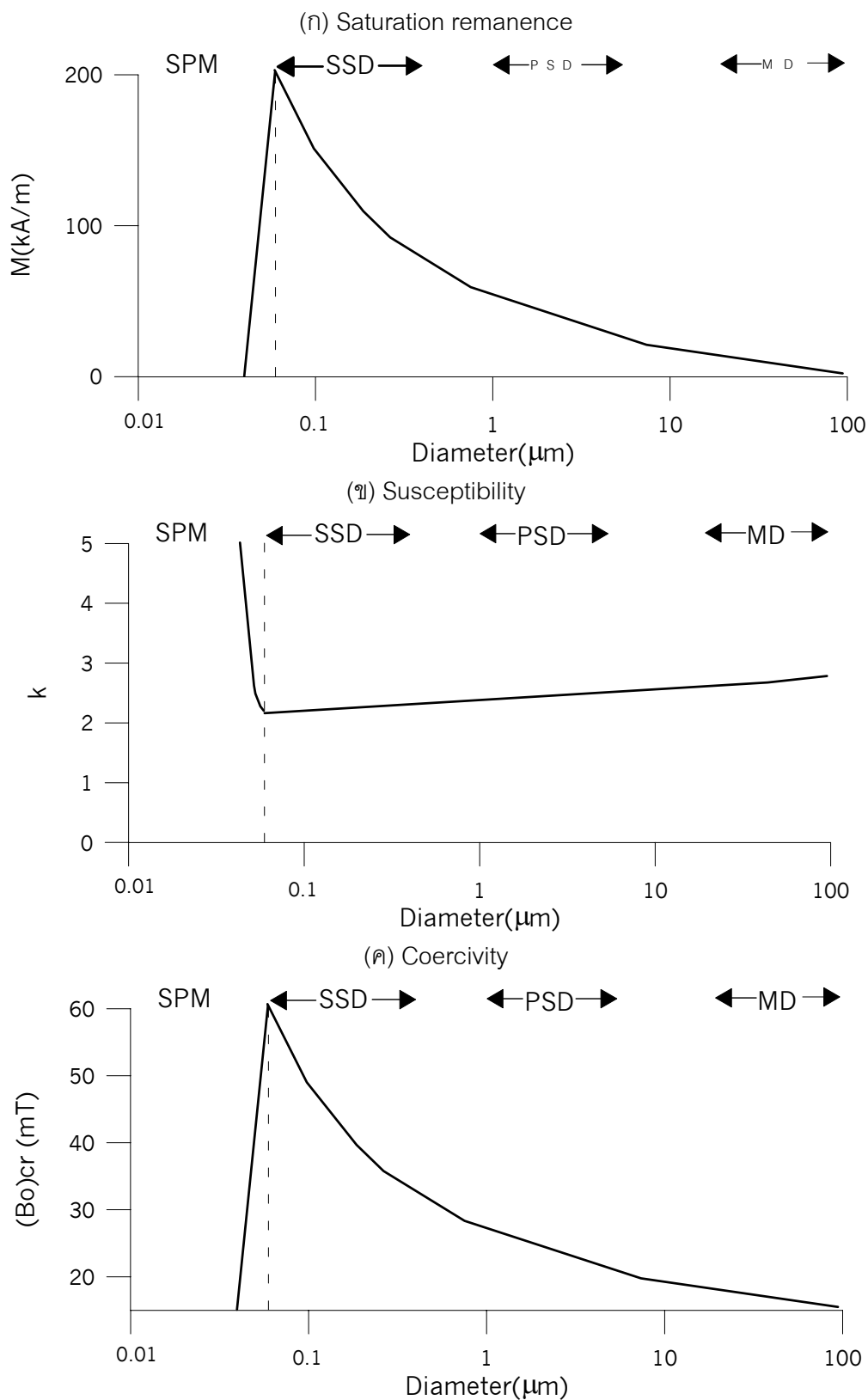
เราจำแนกโดเมนแม่เหล็กออกเป็น single domain , multidomain และ pseudo-single domain เม็ดแร่ที่ประกอบขึ้นจาก single domain ก็เรียกว่าเป็น single domain grain , multidomain grain , pseudo-single domain grain และที่พิเศษกว่าแบบอื่นก็คือ superparamagnetic grain

รูปที่ 9 ความแตกต่างของ Magnetic grains ประเภทต่างๆ (ที่มา : Reilly , 1984 : 95)

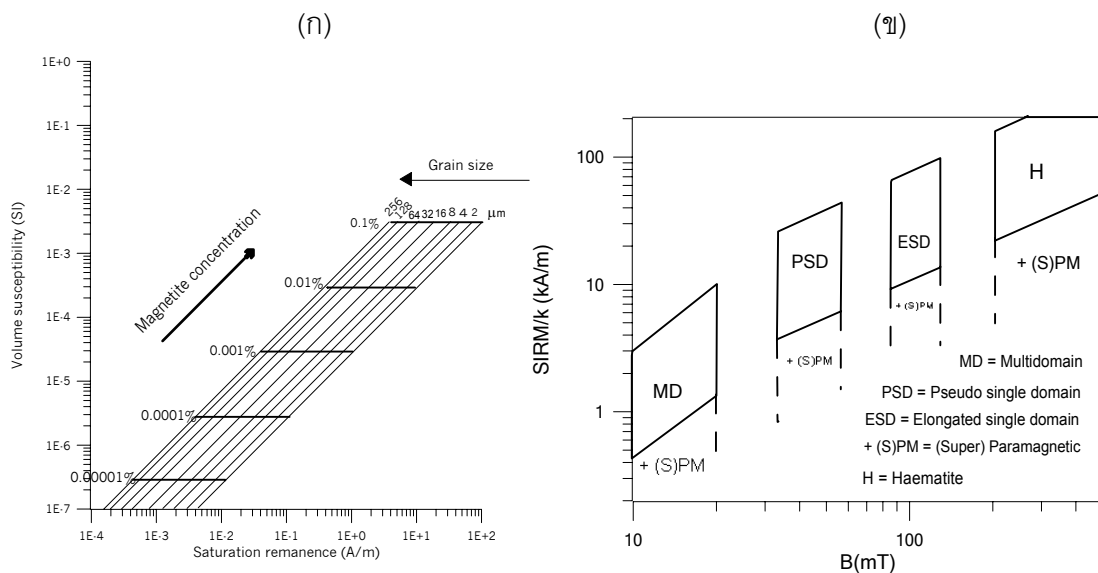


ความแตกต่างระหว่างโดเมนประเภทต่างๆเป็นความแตกต่างของขนาดโดเมนดังรูปที่ 8 โดยทั่วไปเมื่อเม็ดแร่กำเนิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี เริ่มจาก 1 ไมเลกุล (สมมติเป็น 1 ไดโพล) เป็นหลายๆไมเลกุล หรือหลายๆไดโพลเข้าสู่สภาวะ superparamagnetic คือมีค่า magnetic susceptibility สูงแต่ไม่มีอำนาจแม่เหล็กถาวร จากสภาวะ superparamagnetic เม็ดโดเมนโตขึ้น เข้าสู่ย่าน single domain grain ซึ่งตรงนี้ค่า magnetic susceptibility จะลดลงแต่ยังคงมีค่าอยู่ (ดังรูปที่ 9) และเริ่มแสดงอำนาจแม่เหล็กถาวรหรืออำนาจแม่เหล็กคงค้าง (remanent magnetization) ซึ่งเราสามารถใช้คุณสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กไม่ว่าจะเป็น ค่า Saturation Isothermal Remanent Magnetization (SIRM) ค่า Coercivity of remanence (H_{cr}) และค่า magnetic susceptibility (k) ในการจำแนกชนิดของ grain size ว่าเป็นชนิดใด สามารถพิจารณาได้จากกราฟดังรูปที่ 10

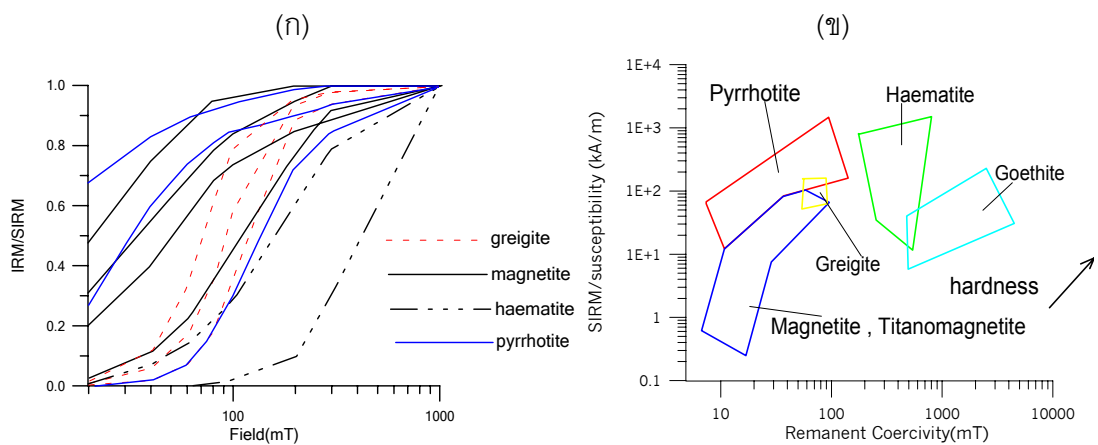
รูปที่ 10 ความแตกต่างของสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กกับขนาด grain size ประเภทต่างๆ (ที่มา : Thompson and Oldfield ,1986 : 29)



รูปที่ 11 (ก) Biplot Diagram ที่ใช้ศึกษาความเข้มข้น pure magnetite , (ข) Biplot Diagram สำหรับจำแนกประเภทของ Domain โดยพิจารณาจากความแตกต่างของสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็ก(ที่มา : Thompson and Oldfield ,1986 : 29)



รูปที่ 12 (ก) กราฟ IRM ของตัวอย่างแร่แม่เหล็กที่ทดสอบโดย C. Peter และ R. Thompson , (ข) Biplot Diagram ที่ใช้ในการจำแนกชนิดของแร่แม่เหล็กโดยอาศัยความแตกต่างของสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็ก (ที่มา : Peter and Thompson ,1998 : 367 และ 373)



ถ้าต้องการศึกษาหาเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแร่ magnetite รวมทั้งขนาดของเม็ด grain สามารถพิจารณาร่วมกับ Biplot Diagram จากรูปที่ 11(ก) และหาชนิดของ grain size โดยอาศัยค่า magnetic susceptibility , SIRM และค่า Hcr มาเปรียบเทียบกับ Biplot Diagram ดังรูปที่ 11(ข) ซึ่งจาก Biplot Diagram รูปที่ 11(ข) ESD ลงมาทางซ้ายมือจะเป็นของแร่ magnetite

ส่วนที่เหลือจะเป็นของแร่ haematite ในทำนองเดียวกันถ้านำกราฟ IRM remagnetization curve ของตัวอย่างดินตะกอนมาเปรียบเทียบกับกราฟ IRM remagnetization curve ของตัวอย่างแร่แม่เหล็กที่ทดสอบโดย C. Peter และ R. Thompson และนำค่าต่างๆที่ได้จากการศึกษาสมบัติเฉพาะทางมาสร้างเป็นกราฟ Biplot เป็น diagram สำหรับศึกษาลักษณะและขนาดของ domain ดังรูปที่ 11 รวมทั้งสามารถนำค่าดังกล่าวมาศึกษาชนิดของแร่แม่เหล็กโดยนำมาเขียนเปรียบเทียบกับ diagram ดังรูปที่ 12

4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี EDXRF เพื่อหาหลายพิมพ์รังสีเอกซ์เรือง

4.1 หลักการของวิธีเรืองรังสีเอกซ์

หลักการของวิธีเรืองรังสีเอกซ์ คือ ทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจร (shell) ชั้นในๆ (ชั้น K หรือ ชั้น L) เกิดไอออไนเซชัน (ionization) หลุดออกจากอะตอม โดยการยิงรังสีปฐมภูมิ (primary radiation) เข้าไป เมื่ออิเล็กตรอนในวงโคจรในหลุดไปจะเกิดที่ว่างขึ้น อิเล็กตรอนจากวงโคจรนอกซึ่งมีระดับพลังงานสูงกว่าเข้าไปแทนที่ที่ว่างจะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า รังสีเอกซ์เรือง (fluorescent X-ray) และเรียกขบวนการเกิดรังสีเอกซ์เรืองว่า การเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence) เนื่องจากพลังงานของรังสีเอกซ์เรืองนั้นมีค่าเฉพาะสำหรับธาตุแต่ละชนิด จึงเรียกรังสีเอกซ์เรืองอีกชื่อหนึ่งว่า รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic X-ray) การวิเคราะห์คุณภาพและปริมาณของธาตุด้วยวิธีนี้วิเคราะห์ได้โดยการวัดพลังงานและความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองนั่นเอง

4.2 พลังงานและความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์เป็นรังสีชนิดที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับรังสีแกมมา (gamma-ray) รังสีเอกซ์ต่างกับรังสีแกมมาตรงที่รังสีเอกซ์เกิดขึ้นภายนอกนิวเคลียสของอะตอม (คือเกิดใน electron shell) ส่วนรังสีแกมมามีแหล่งกำเนิดจากนิวเคลียสของอะตอม

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีเอกซ์ (E) กับความยาวคลื่น (λ) เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$E = h.f = hc/\lambda \dots\dots\dots(4)$$

เมื่อ h คือ Plank's constant = 6.626×10^{-34} J.s (จูล.วินาที)

f คือ ความถี่ (frequency) ของรังสีเอกซ์

C คือ ความเร็วแสง = 3.0×10^8 m/s (เมตรต่อวินาที)

ถ้ารังสีเอกซ์มีความยาวคลื่น 1 \AA (angstrom) = 10^{-10} เมตร จะมีพลังงานเท่ากับ 12.4 keV ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีเอกซ์ในหน่วย กิโลอิเล็กตรอนโวลต์(kilo electron volt ,keV) กับความยาวคลื่นในหน่วย Å (angstrom) เป็น

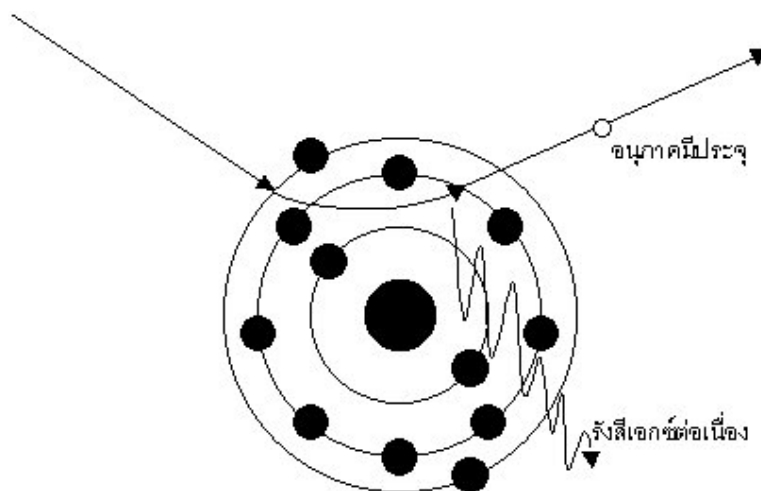
$$\lambda(\text{Å}) = 12.4 / E(\text{keV}) \dots\dots\dots(5)$$

4.3 ชนิดของรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ รังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง (continuous x-ray) และรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic x-ray)

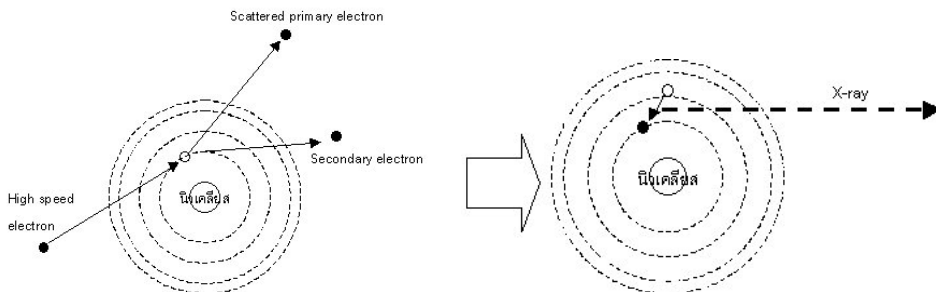
4.3.1 รังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง (continuous x-ray) เมื่ออนุภาคมีประจุพลังงานสูงเคลื่อนผ่านสนามไฟฟ้าของอะตอมจะถูกหน่วง(decelerate) ทำให้สูญเสียพลังงานไปในรูปของรังสีเอกซ์ดังรูปที่ 13 การสูญเสียพลังงานของอนุภาคมีประจุในลักษณะนี้เป็นไปได้ตั้งแต่สูญเสียพลังงานน้อยที่สุดจนกระทั่งสูญเสียพลังงานมากที่สุด คือเท่ากับพลังงานจลน์เริ่มแรกของอนุภาคที่มีประจุนั้นเอง สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจึงมีพลังงานต่อเนื่องกันตั้งแต่พลังงานน้อยๆจนกระทั่งพลังงานสูงสุด (maximum energy) รังสีเอกซ์ต่อเนื่องมีชื่อที่นิยมเรียกกันว่า Bremsstrahlung หลักการเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่องนี้เป็นหลักการในการผลิตรังสีเอกซ์จากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์(X-ray tube) และการทำต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไอโซโทป (Isostopic x-ray source) ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดรังสีปฐมภูมิ (Primary X-ray) สำหรับการวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีเรืองรังสีเอกซ์

รูปที่ 13 การเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (ที่มา : นเรศร์ จันทรชิวา , 2525 : 33)

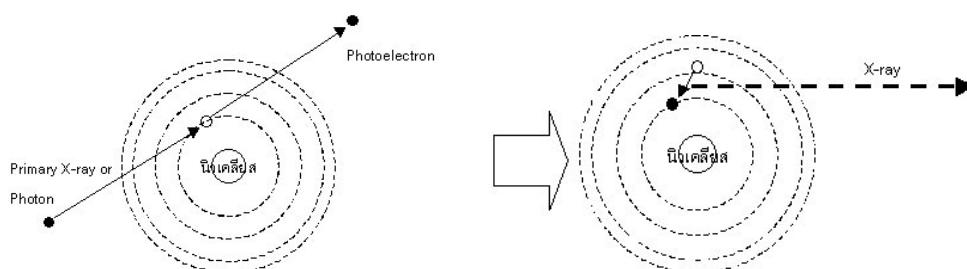


รูปที่ 14 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวแบบต่างๆ (ที่มา : นเรศร์ จันทรขาว , 2525 :4)

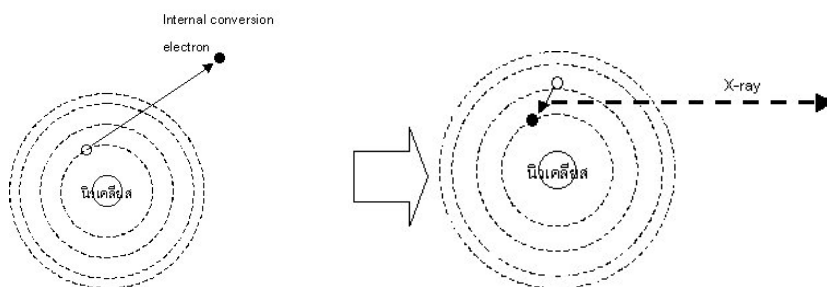
(ก) เกิดจากอนุภาคมีประจุภายในอะตอม



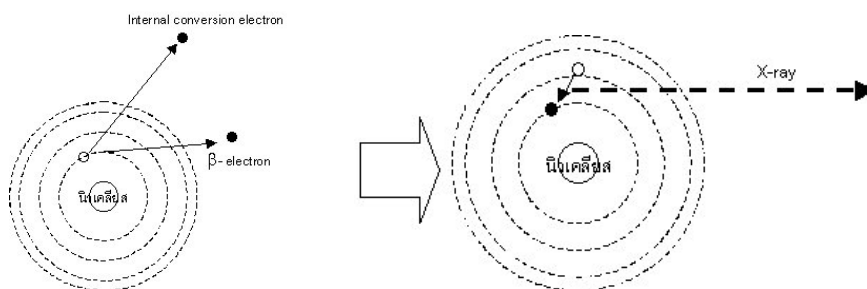
(ข) เกิดจากโฟตอนภายนอกอะตอม



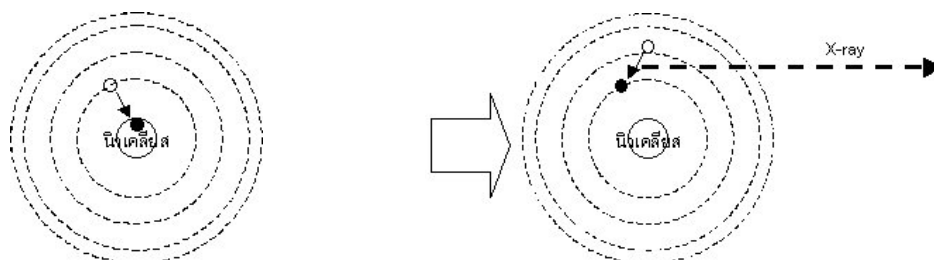
(ค) เกิดจากรังสีแกมมาจากนิวเคลียส



(ง) เกิดจากรังสีเบตาจากนิวเคลียส



(จ) เกิดภายหลังการเกิด electron capture



4.3.2 รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic x-ray) เกิดขึ้นจากการที่อิเล็กตรอนวงโคจรนอก ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าเข้าไปแทนที่ว่างของอิเล็กตรอนวงโคจรในหลุดไป แล้วปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ดังรูปที่ 14 พลังงานของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้มีค่าเฉพาะสำหรับธาตุแต่ละชนิด คือเท่ากับความแตกต่างระหว่างระดับพลังงานของอิเล็กตรอนวงโคจรอกกับระดับพลังงานของอิเล็กตรอนวงโคจรใน เนื่องจากวงโคจรของอิเล็กตรอน (electron shell) ยังแบ่งออกเป็นวงโคจรย่อย (subshell) อีกซึ่งมีจำนวนเท่ากับ $(2n-1)$ subshells (เมื่อ n คือ principal quantum number) คือ วงโคจรชั้น K, L, M และ N,... ตามลำดับ ดังนั้นการแทนที่อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากวงโคจรวงในจึงทำให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวได้หลายพลังงานแล้วแต่ว่าเกิดจากการแทนที่ระหว่างอิเล็กตรอนในวงโคจรหรือวงโคจรย่อยใด

4.4 การดูดกลืนรังสีเอกซ์

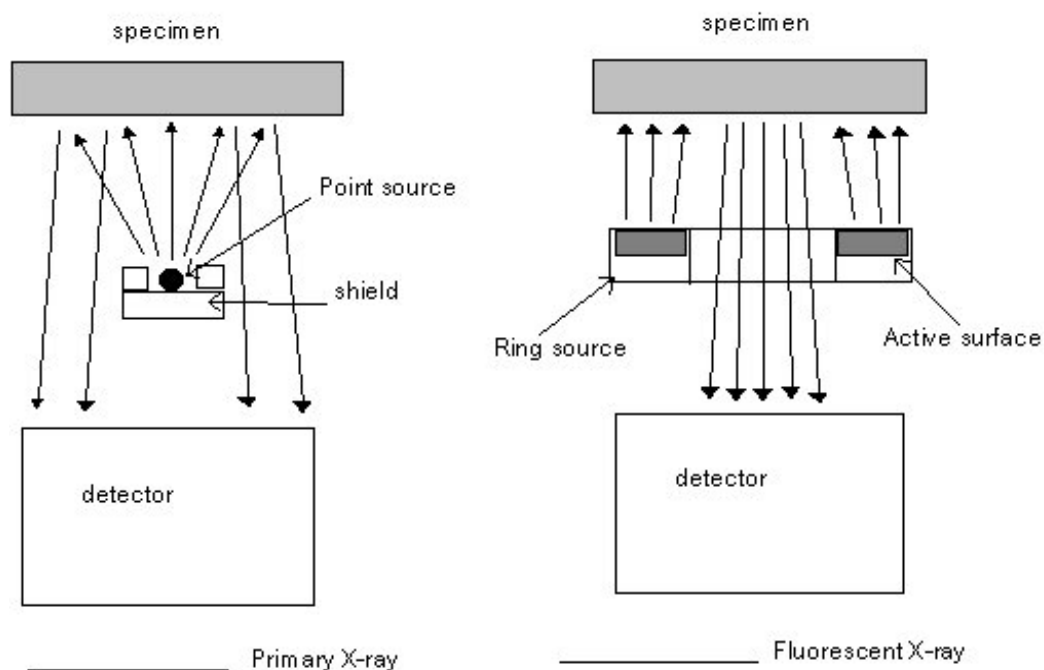
การดูดกลืนรังสีเอกซ์นั้นเกิดจากอันตรกิริยาแบบ โฟโตอิเล็กตริก เอฟเฟกต์ (Photoelectric effect) ซึ่งเป็นอันตรกิริยาที่รังสีเอกซ์ถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้แก่อิเล็กตรอนของอะตอมตัวกลาง ภายหลังจากอันตรกิริยาแบบนี้รังสีเอกซ์จะหายไป และบางส่วนเกิดจากการกระเจิงแบบคอมตัน (Compton effect or Compton scattering) ซึ่งเป็นอันตรกิริยาที่รังสีเอกซ์ถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้แก่อิเล็กตรอนของอะตอมตัวกลาง ภายหลังจากอันตรกิริยาแบบนี้รังสีเอกซ์จะมีพลังงานลดลงซึ่งมักเรียกว่า incoherent scattering

4.5 ระบบวิเคราะห์แบบเรืองรังสีเอกซ์

ระบบวิเคราะห์แบบเรืองรังสีเอกซ์ แบ่งออกเป็นส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ ต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ (primary radiation source) ตัวอย่าง (sample) และส่วนของระบบวัดและวิเคราะห์รังสีเอกซ์ (X-ray detection and analysing system) ในการจัดระบบถือ geometry ของ 3 ส่วนเหล่านี้เป็นหลัก สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 แบบคือ coaxial geometry และ non-coaxial geometry ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองในที่นี้จะแบบ coaxial geometry ซึ่งเป็นระบบที่จัดส่วนของต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ ตัวอย่าง และส่วนของหัววัดรังสีอยู่ในแนวเดียวกัน (coaxial) การจัดระบบในลักษณะนี้จัดได้ในกรณีที่ใช้ต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิเป็นชนิดไอโซโทปรังสีซึ่งจะใช้ได้กับระบบวิเคราะห์แบบ non-dispersion ดังรูปที่ 15

การวิเคราะห์สเปกตรัมที่ได้จากระบบ non-dispersion นี้ก็มีปัญหาที่ต้องพิจารณาเช่นเดียวกับระบบ dispersion คือเกี่ยวกับการเกิด scattered peaks และการเกิด peak ซ้อนของ peak ที่มีพลังงานใกล้เคียงกัน การ identify peak ของระบบนี้จะทำโดยการหาค่าพลังงานของแต่ละ peak เพื่อวิเคราะห์ว่าเป็นของรังสีเอกซ์เส้นใด ของธาตุอะไรจาก X-ray emission energies chart

รูปที่ 15 การจัดระบบวิเคราะห์ Coaxial geometry (ที่มา : นเรศร์ จันทร์ขาว , 2525 : 33)



5 หน่วยที่ใช้

หน่วยที่ใช้ในที่นี้ จะใช้หน่วยในระบบ SI (International System of Units) หน่วยที่ใช้เป็นไปตาม IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) Bulletin 35 นั่นคือ

5.1 สนามแม่เหล็ก (Magnetic field) ถูกอธิบายเป็นการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (magnetic induction) หรือ ความหนาแน่นฟลักซ์ (B) มีหน่วยเป็น เทสลา(Tesla ,T) หรือเท่ากับ 1 เวเบอร์ต่อตารางเมตร (Wb m^{-2})

5.2 ความเข้มของแมกนีไทเซชัน(Intensity of Magnetization) มีนิยามว่าเป็นแมกนีไทเซชัน(Magnetization , M)หรือ ผลรวมของ magnetic dipole moment ต่อ ปริมาตรของตัวอย่าง ได้จาก $B = \mu_0(H+M)$ ดังนั้น the magnetizing field H และ M มีหน่วยเดียวกัน คือ แอมแปร์ต่อเมตร(A m^{-1}) เมื่อ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Henry/metre

5.3 สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก(magnetic susceptibility , k) แบบ Low field ซึ่งที่ใช้ในที่นี้คือ Volume susceptibility เป็นอัตราส่วนระหว่าง M และ H จึงไม่มีหน่วยในระบบ SI

ตาราง 5 สัญลักษณ์และหน่วยที่ใช้ในทางแม่เหล็ก

ปริมาณ	สัญลักษณ์	หน่วย SI	หน่วยที่ใช้โดยปกติ
Magnetic field	B	T	nT , 1 nT = 10^{-9} T
Magnetizing field	H	Am^{-1}	Am^{-1} 1 $\text{mA}\text{m}^{-1} = 10^{-3} \text{Am}^{-1}$
Intensity of magnetization	M	Am^{-1}	Am^{-1}
Susceptibility	k	-	

ที่มา : Collinson, D.W., 1983 : 446

บางครั้งจะสะดวกกว่าที่จะแปลง ความเข้มแมกนีไทเซชันในหน่วย Am^{-1} เป็นหน่วยวัตต์สนามแม่เหล็ก เทสลา โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$1 \text{ mA}\text{m}^{-1} \text{ สมมูลกับ } 1.256 \text{ nT}$$

6 หลักการวิเคราะห์ข้อมูลจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : r^2 หรือ R^2) และ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient : r หรือ R)

6.1 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ หมายถึง สัดส่วนที่ตัวแปร X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y ได้ ดังนั้นถ้าค่า r^2 มีค่ามากแสดงว่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันมากหรือ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y ได้มาก

คุณสมบัติของ r^2

1. r^2 จะไม่มีหน่วย
2. ถ้า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเปอร์เซ็นต์ที่ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y มีค่ามาก หรือ X และ Y มีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าเปอร์เซ็นต์ที่ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y มีค่าน้อย

6.2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นค่าทางสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y ว่ามากหรือน้อย โดยค่านี้จะไม่มีความหมาย และ มีค่าสูงสุดเป็น 1 และต่ำสุดเป็น -1

ความหมายของค่า r

1. ค่า r เป็นลบ แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้ามคือถ้า X เพิ่ม Y จะลด แต่ถ้า X ลด Y จะเพิ่ม
2. ค่า r เป็นบวก แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันคือถ้า X เพิ่ม Y จะเพิ่มด้วย แต่ถ้า X ลด Y จะลดลงด้วย
3. ถ้า r มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง X และ Y สัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและมีความสัมพันธ์กันมาก

4. ถ้า r มีค่าเข้าใกล้ -1 หมายถึง X และ Y สัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามและมีความสัมพันธ์กันมาก
5. ถ้า $r = 0$ แสดงว่า X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กัน
6. ถ้า r เข้าใกล้ 0 แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย
7. ค่า r และ slope จากกราฟจะมีเครื่องหมายเดียวกันคือ เป็นบวกเหมือนกันหรือเป็นลบเหมือนกัน เนื่องจากทั้ง r และ slope จากกราฟเป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์กันระหว่าง X และ Y

6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : r^2 หรือ R^2) และ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient : r หรือ R)

$$\text{สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์} = \sqrt{\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ}}$$

หรือ

$$r = \sqrt{r^2}$$

วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1 ศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของตะกอนและวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่มีในตะกอน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางแม่เหล็กและปริมาณโลหะหนักในตะกอน(ถ้ามี)
- 2 ศึกษาลักษณะลายพิมพ์รังสีเอกซ์เรืองของตะกอนที่ขนานน้ำจากตำแหน่งต่างๆตลอดแนวคลองคูตะกอน เพื่อวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบต่างๆในตะกอนที่ขนานน้ำ
- 3 วิเคราะห์ที่มาของธาตุประกอบในตะกอนว่ามาจากธรรมชาติหรือมาจากกิจกรรมของมนุษย์