บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ปัญหาของโลหะหนักในจังหวัดระยอง

นับจากปี 2424 จังหวัดระยองถูกกำหนดให้เป็นเมืองหลักของโครงการพัฒนาพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก โดยจะพัฒนาให้เป็นศูนย์กลางความเจริญ และเป็นศูนย์บริการมาตรฐานการศึกษาวิจัย ด้านเทคโนโลยี ซึ่งจะต้องมีการระดมพัฒนาในสาขาต่างๆ โดยเฉพาะด้านอุตสาหกรรม และขณะนี้จังหวัดระยองถือเป็นเมืองอุตสาหกรรมแห่งสำคัญของประเทศ จากข้อมูลของศูนย์บริหารการทะเบียนสาขาระยองเมื่อเดือนมิถุนายน 2549 รายงานว่า จังหวัดระยองมีพื้นที่ประมาณ 2,220,000 ไร่ แบ่งเขตการปกครองเป็น 6 อำเภอ 2 กิ่งอำเภอ ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอปลวกแดง อำเภอแกลง อำเภอบ้านค่าย อำเภอบ้านฉาง อำเภอวังจันทร์ กิ่งอำเภอนิคมพัฒนา และกิ่งอำเภอเขาชะเมา สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดระยองรายงานว่า ในจังหวัดระยองมีประชากรตามทะเบียนราษฎร์ 566,543 คน ประชากรแฝงประมาณ 307,000 คน (ร้อยละ 54) จังหวัดระยองมีนิคมอุตสาหกรรม 8 แห่ง และเขตประกอบการอุตสาหกรรม 5 เขต นิคมอุตสาหกรรมนั้น ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด นิคมอุตสาหกรรมตะวันออก นิคมอุตสาหกรรมผาแดง นิคมอุตสาหกรรมเอเซีย นิคมอุตสาหกรรมอีสเทินร์นซีบอร์ด นิคมอุตสาหกรรมอมตะ นิคมอุตสาหกรรมเหมราช อีสเทิร์นซีบอร์ด และนิคมอุตสาหกรรมอาร์ ไอ แอล มีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมนอกพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมในจังหวัดระยองจำนวน 1,704 โรงงาน (ข้อมูลจากสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดระยอง, 2550) จากข้อมูลนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด วันที่ 15 มีนาคม 2550 พบว่ามีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในเขตพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมจำนวน 330 โรงงาน คนงาน 39,181 คน จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในเขตประกอบการอุตสาหกรรม 115 โรงงาน คนงาน 18,994 คน โรงงานอุตสาหกรรมนอกเขตนิคมอุตสาหกรรมและนอกเขตประกอบการอุตสาหกรรมจำนวน 1,257 โรงงาน มีคนงาน 68,767 คน โดยเฉพาะในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ซึ่งจัดตั้งขึ้นในเขตตำบลมาบตาพุด อำเภอเมืองจังหวัดระยองเนื่องจากโครงการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออก หรือโครงการอีสเทิร์นซีบอร์ดนั้นมีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมและสถานประกอบกิจการอื่นๆ จำนวน 71 โรงงาน คนงาน 13,600 คน (http://www.envocc.org/html/modules.php?name=Downloads&d_op=viewdown load&cid=5, 12 พฤษภาคม 2554) โรงงานอุตสาหกรรมมีหลายประเภท เช่น โรงงานปิโตร

เคมี โรงงานผลิตปุ๋ยและเคมีภัณฑ์ โรงผลิตไฟฟ้าและโรงงานที่มีการผลิตและการใช้โลหะหนัก ได้แก่ โรงงานถลุงเหล็ก นอกจากนี้ โรงงานอุตสาหกรรมนอกเขตนิคมอุตสาหกรรมยังมีการประกอบการอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยเฉพาะกิจการเกี่ยวกับโลหะหนัก ได้แก่ กิจการทำแบตเตอรี่และหลอมตะกั่ว ซึ่งโรงงานเหล่านี้มีการใช้และผลิตสารเคมีอันตรายหลายชนิด ที่สำคัญได้แก่ สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds: VOCs) กรด ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และสารโลหะหนัก เป็นต้น มีการตรวจพบว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่าย กรด และสารโลหะหนักปนเปื้อนในอากาศ ในดิน และในน้ำ ซึ่งการปนเปื้อนของสารโลหะหนักนี้อาจเนื่องจากกระบวนการผลิตและการกำจัดทางอุตสาหกรรมของโรงงานและสถานประกอบกิจการต่างๆ และอาจเนื่องจากมีสินแร่ของสารโลหะหนักบางประเภทปนเปื้อนตามธรรมชาติอยู่บ้างแล้ว สารโลหะหนักสำคัญที่พบปนเปื้อนในพื้นที่มาบตาพุดได้แก่ ตะกั่ว (Pb) สารหนู (As) เหล็ก (Fe) ซีลีเนียม (Se) ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) สังกะสี (Zn) และ แมงกานีส (Mn) ซึ่งสารเคมีเหล่านี้มีพิษต่อร่างกายทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง โดยทำให้ระคายเคืองผิวหนัง เยื่อบุอ่อน ระบบทางเดินหายใจ ตับและไต ระบบเลือด ระบบสืบพันธุ์ ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ และบางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง ในพื้นที่เขตนิคมอุตสาหกรรมจึงพบปัญหามลพิษทางอากาศเนื่องจากกลิ่นของสารเคมีและการปนเปื้อนของสารเคมีในอากาศ มลพิษทางน้ำจากปัญหาน้ำทิ้งของโรงงาน มลพิษในน้ำ และมลพิษในดินเนื่องจากการทิ้งขยะมูลฝอยจากชุมชนและกากของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรม (นลินี ศรีพวง, 2550.) โดยแหล่งกำเนิดมลพิษในจังหวัดระยองแสดงดังภาพที่ 2.1 และชุดดินรายอำเภอของจังหวัดระยอง (ตารางที่ 2.1)

ภาพที่ 2.1

ตำแหน่งแหล่งกำเนิดมลพิษในจังหวัดระยอง

ที่มา: สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดระยอง, 2550

ตารางที่ 2.1

ชุดดินรายอำเภอจังหวัดระยอง

อำเภอ	ชุดดิน
เมืองระยอง	ระยอง บ้านดอน บ้านดอนที่เป็นดินลึกมาก ดินตะกอนลำน้ำ ชลบุรี บางนารา แกลง โคกเคียน ลำภูรา คอหงส์ ท่าแซะ ท่าแซะมีจุดประ คอหงส์/ท่าแซะ พังงา ระนอง บ้านบึง สัตหีบ ทุ่งหว้า สัตหีบ/ทุ่งหว้า คลองนกกระทุง ห้วยโป่ง ทุ่งหว้า/ห้วยโป่ง ท้ายเหมือง มาบบอน คลองท่อม ฝั่งแดง คลองชาก
แกลง	ระยอง พัทยา บ้านดอน ตะกอนทะเลหลายอย่างอยู่ปะปนกัน ดอนเมือง ตะกอนลำน้ำที่มีการระบายน้ำเลวอยู่ปะปนกัน บางนารา แกลง วิสัย โคกเคียน คอหงส์ ท่าแซะ นาทวี คลองท่อม ฝั่งแดง ชุมพร หนองคล้า คลองชาก/ท่าแซะ คลองชากกับลำภูเขา คลองเต็งและท่าทวน บ้านบึง สัตหีบ ห้วยโป่ง พังงา ท้ายเหมือง ที่ลุ่มชื้นแฉะบริเวณที่เป็นภูเขา
บ้านค่าย	โคกเคียน ห้วยโป่ง บ้านดอน ชลบุรี บ้านบึง สัตหีบ ทุ่งหว้า พังงา ภูเก็ต ภูเขา มาบบอน ท้ายเหมือง ฉลอง โคกกลอย คลองชาก คลองนกกระทุง ดินตะกอนลำน้ำที่มีการระบายน้ำเลวปะปนกัน หน่วยดินไม่สัมพันธ์กับของดินชุดมาบบอนและท้ายเหมือง หน่วยดินไม่สัมพันธ์กับของดินชุดบ้านบึงและชุดสัตหีบ
ปลวกแดง	พังงา ดินชุดไม่สัมพันธ์กันของดินชุดมาบบอนและท้ายเหมือง ท้ายเหมือง มาบบอน ห้วยโป่ง ทุ่งหว้า พังงา สัตหีบ โคกเคียน คลองชาก คลองนกกระทุง โคกกลอยบริเวณที่-เป็นภูเขา ดินคล้ายดินชุดฉลอง
บ้านฉาง	ระยอง พัทยา สัตหีบ บ้านบึง ดินกลาง ชุดดินหนองชากไม่สัมพันธ์กันกับชุดหนองคล้า ชุดดินพังงาไม่สัมพันธ์กับดินชุดท้ายเหมือง ชุดดินมาบบอนไม่สัมพันธ์กับชุดดินท้ายเหมือง
วังจันทร์	บ้านบึง ท่าแซะมีจุดประ คลองนกกระทุง ท่าแซะ ชุมพร รือเสาะ รือเสาะมีจุดประ คลองชาก พังงา ทุ่งหว้า มาบบอน โคกกลอย ระยอง นาทวี เทือกเขาและภูเขา
กิ่ง อ.เขาชะเมา	คลองชาก ท่าแซะ คลองชากกับลำภูรา ลำภูรา ห้วยโป่ง บางนรา แกลง ท่าแซะ พังงา บริเวณที่เป็นภูเขา คลองชาก/หนองคล้า
กิ่ง อ.นิคมพัฒนา	มาบบอน สัตหีบ พังงา ทุ่งหว้า ดินคล้ายชุดฉลอง บริเวณที่เป็นภูเขาท้ายเหมือง โคกกลอย บ้านบึง คลองนกกระทุง ดินไม่สัมพันธ์กับของดินชุดมาบบอนและท้ายเหมือง

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน, มปป.

จากชุดดินรายอำเภอของจังหวัดระยอง พบว่าแต่ละอำเภอมีชุดดินซ้ำกันหลายชุดดิน โดยชุดดินพังงา และชุดดินบ้านบึงมีการกระจายอยู่เกือบทุกอำเภอ งานวิจัยนี้เลือกทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับและการปลดปล่อยแคดเมียมของ 2 ชุดดินนี้

คุณลักษณะของดินตัวอย่าง

ชุดดินพังงา

เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินแกรนิต (Granite) ความสามารถในการระบายน้ำได้ดี การซึมผ่านได้ของน้ำได้ปานกลาง พืชพรรณธรรมชาติและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ป่าดงดิบชื้น ยางพาราและสวนผลไม้

ลักษณะและสมบัติดิน เป็นดินลึกมาก ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีสีน้ำตาล ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถึงเป็นดินเหนียวปนทราย มีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง ค่าความเป็นกรด-เบส 5.0-6.5 (ตารางที่ 2.2) (สำนักสำรวจดินและการวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

คุณสมบัติหน้าตัดของชุดดินพังงาที่ระดับความลึกต่างๆ พบว่าที่ความลึก 0-25 และ 50-100 เซนติเมตร มีอินทรียวัตถุปานกลาง ส่วนที่ความลึก 25-50 เซนติเมตร มีอินทรียวัตถุต่ำ และมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน ความอิ่มตัวเบส ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ และความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ ตามลำดับ (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2
คุณสมบัติหน้าตัดดินของชุดดินพังงา

ความลึก (เซนติเมตร)	อินทรียวัตถุ	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน	ความอิ่มตัวเบส	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์	ความอุดมสมบูรณ์ของดิน
0-25	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
25-50	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
50-100	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2548

ชุดดินบ้านบึง

เกิดจากตะกอนน้ำพาหรือเนินตะกอนน้ำพารูปพัดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นหินแกรนิต การระบายน้ำได้ดีปานกลางถึงค่อนข้างเลว การซึมผ่านได้ของน้ำได้เร็ว พืชพรรณธรรมชาติและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปลูกอ้อย และมันสำปะหลัง พบในบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย

ลักษณะและสมบัติดิน ดินทรายลึกมาก ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน มีสีน้ำตาล มีจุดประสีเทาและสีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีเหลืองปนน้ำตาล ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (ค่าความเป็นกรด-เบส 5.5-6.0) ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วน มีสีเทาหรือสีน้ำตาลและมีจุดประสีเหลืองในดินล่างถัดลงไป ปฏิกิริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (ค่าความเป็นกรด-เบส 6.5-8.0) ตลอดหน้าตัดดิน (ตารางที่ 2.3) (สำนักสำรวจดินและการวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

คุณสมบัติหน้าตัดของชุดดินบ้านบึงที่ระดับความลึกต่างๆ พบว่าที่ความลึก 0-25 เซนติเมตร มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ปานกลาง ส่วนที่ความลึก 25-100 เซนติเมตร มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ นอกจากนี้พบว่า ความลึก 0-100 เซนติเมตร มีความอิ่มตัวเบสปานกลาง และมีอินทรียวัตถุ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ และความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ ตามลำดับ (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3
คุณสมบัติหน้าตัดดินของชุดดินบ้านบึง

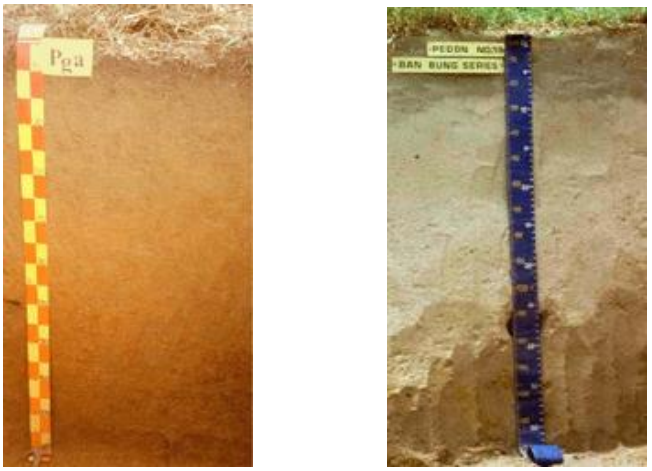
ความลึก (เซนติเมตร)	อินทรียวัตถุ	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน	ความอิ่มตัวเบส	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์	ความอุดมสมบูรณ์ของดิน
0-25	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ
25-50	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
50-100	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2548

จากข้อมูลพื้นฐาน และคุณสมบัติหน้าตัดดินของชุดดินพังงา และชุดดินบ้านบึง ข้างต้น ภาพแสดงหน้าตัดดินของทั้ง 2 ชุด (ภาพที่ 2.2)

ภาพที่ 2.2

ภาพแสดงหน้าตัดดินของชุดดินพังงา และชุดดินบ้านบึง



(a) ชุดดินพังงา (b) ชุดดินบ้านบึง

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2548

ความสำคัญและองค์ประกอบของดิน

ดิน คือ เทหวัตถุธรรมชาติที่เกิดจากการผสมของอนินทรียสาร คือ แร่ธาตุต่างๆ ที่สลายตัวเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย กับอินทรียวัตถุที่เน่าเปื่อยผุพังผสมคลุกเคล้ารวมกันขึ้นเป็นชั้นบางๆ ห่อหุ้มผิวโลก เมื่อมีอากาศและน้ำเป็นปริมาณที่เหมาะสม ดินจะช่วยค้ำจุนพร้อมทั้งช่วยในการยังชีพและการเจริญเติบโตของพืช ดินมี 3 มิติ คือ กว้าง ยาว และลึก กล่าวคือ ดินจะมีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่ต่างกัน และมีการเปลี่ยนแปลงได้ในแต่ละมิติ เนื่องจากดินเกิดมาจากหิน อินทรียวัตถุที่มีองค์ประกอบและขบวนการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน จึงมีสมบัติแตกต่างกันออกไป

องค์ประกอบของดินแร่ (Mineral soil)

ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกโดยทั่วไปส่วนใหญ่เป็นดินแร่ องค์ประกอบของดินแร่ที่มีความสำคัญมี 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่เป็นของแข็ง และส่วนที่เป็นช่องหรือที่ว่าง

1. ส่วนที่เป็นของแข็ง (ร้อยละ 40-80 โดยปริมาตร) ได้แก่

1.1 แร่ธาตุ (Mineral matter) เป็นส่วนที่เกิดจากการสลายตัวของหินและแร่ต่างๆ ที่เป็นวัตถุต้นกำเนิด (Parent material) ของดิน แร่ธาตุต่างๆ จะมีปริมาณในดินมากน้อยตามสภาพแวดล้อมและชนิดของหินที่ให้กำเนิดดิน ดินแร่ที่ใช้ในการเพาะปลูกทั่วไป มีส่วนที่เป็นแร่ธาตุมากกว่าร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก ลักษณะของส่วนที่เป็นแร่ในดินนี้ เป็นอนุภาคของแข็งที่มีรูปร่างและขนาดต่างๆ กัน สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีก็ต่างกันตามชนิดแร่ แร่ธาตุเหล่านี้เป็นแห่งให้ธาตุอาหารพืช และเป็นส่วนที่ช่วยค้ำจุนพืช

1.2 อินทรียวัตถุ (Organic matter) เป็นองค์ประกอบของดินอยู่ในสภาพที่เรียกว่า ฮิวมัส (Humus) เป็นสารซึ่งเกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังของซากพืช ซากสัตว์และจุลินทรีย์ในดิน ส่วนที่เป็นอินทรียวัตถุในดินมีปริมาณต่างกันไปตามสภาพการเกิดและการใช้ดิน โดยทั่วไปมีมากในดินบน ดินล่างมีน้อยมาก หรือไม่มีเลย สำหรับดินบนของดินที่ใช้ทำการเกษตรติดต่อกันเป็นเวลานานๆ จะมีอินทรียวัตถุต่ำกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก แต่ในดินบนของดินอินทรีย์ (Organic soil) จะมีอินทรียวัตถุมากกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก อินทรียวัตถุในดินเป็นสารที่ละเอียด สีดำ อมน้ำได้มาก นุ่มมือเมื่อสัมผัส อินทรียวัตถุในดินเป็นตัวช่วยให้ดินอุ้มน้ำได้ดี ช่วยดูดซับธาตุอาหารพืชไม่ให้ถูกชะล้าง สูญเสียไปโดยง่าย ทั้งยังสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารพืชบางอย่างให้เป็นประโยชน์แก่พืชได้

2. ส่วนที่เป็นช่องหรือที่ว่าง (ร้อยละ 20-60 โดยปริมาตร) ได้แก่

2.1 น้ำ (Water) โมเลกุลของน้ำเกาะรอบเม็ดดินเป็นชั้นๆ อยู่ในที่ว่างระหว่างเม็ดดิน ปริมาณน้ำในดินเป็นสิ่งที่แปรปรวนตลอดเวลา เมื่อดินแห้งที่สุด (ในสภาพธรรมชาติ) ก็ยังมีโมเลกุลของน้ำหุ้มรอบเม็ดดินอย่างน้อย 2-3 ชั้น และเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ดินจะมีน้ำอยู่เต็มที่ว่างระหว่างเม็ดดิน สมบัติของน้ำอยู่เต็มที่ว่าง ระหว่างเม็ดดิน สมบัติของน้ำในดินต่างกันไปตามอิทธิพลของแรงดูดยึดของเม็ดดินต่อโมเลกุลของน้ำและแรงอื่นๆ ที่มากระทำ เช่น แรงดึงดูดของโลก (Gravitational force) แรงแคปิลลารี (Capillary force) และอื่นๆ อีก น้ำในดินเป็นแหล่งให้น้ำแก่พืชและเป็นตัวละลายธาตุอาหารพืชให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชด้วย

2.2 อากาศ (Air) อากาศในดินประกอบด้วยก๊าซชนิดต่างๆ เช่นเดียวกับอากาศในบรรยากาศ คือ ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และอื่นๆ แต่ปริมาณและสัดส่วนของก๊าซแต่ละชนิดของอากาศในดินต่างกับของอากาศในบรรยากาศ กล่าวคือ จะมีปริมาณก๊าซออกซิเจนน้อยกว่าและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าของอากาศในบรรยากาศ

อากาศในดินอยู่ในที่ว่างระหว่างเม็ดดินในส่วนที่ไม่มีน้ำหรืออยู่เป็นฟองอากาศในน้ำในดิน หรือบางส่วนละลายอยู่ในน้ำในดิน อากาศในดินเป็นแหล่งของก๊าซออกซิเจนสำหรับการหายใจของรากพืชและจุลินทรีย์ในดิน (คณาจารย์ในภาควิชาปฐพีวิทยา, 2523)

อิทธิพลของคุณสมบัติของดินต่อการดูดซับแคดเมียม

จากคุณสมบัติของดินซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของดินแร่ มีผลต่อความสามารถในการดูดซับแคดเมียม ดังต่อไปนี้

1. แคดเมียมเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่าความเป็นกรด-เบส ระหว่าง 4.5 – 5.5 ขณะที่ดินที่มีค่าความเป็นกรด-เบส 7.25 แคดเมียมเคลื่อนที่ได้น้อย เพราะเกิดเกลือแคดเมียมคาร์บอเนต ($CdCO_3$) หรือแคดเมียมฟอสเฟต ($Cd_3(PO_4)_2$) ซึ่งไม่ละลายน้ำ (ขนิษฐา เจริญลาภ, 2539)

2. การละลายได้ของแคดเมียมในดินเพิ่มจาก 0.0005 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 0.006 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อมีค่าความเป็นกรด-เบสของดินลดลงจาก 6.0 เป็น 4.5 (William, Jeff, และ Anderberg, 1993)

3. การที่ดินมีเนื้อดินละเอียด โดยเฉพาะมีร้อยละของอนุภาคดินเหนียวสูง จะมีการดูดซึมและดึงดูดโลหะหนัก อาทิ แคดเมียมได้ดีกว่าในดินร่วนและดินทราย เนื่องจากในดินเหนียวจะมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, C.E.C) สูง (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

ความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของดินได้รับอิทธิพลจาก ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของดิน และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) โดยทั้ง 2 ปัจจัยนี้ได้รับอิทธิพลจากอินทรียวัตถุในดินด้วย โดยจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

ปฏิกิริยาดิน (Soil reaction)

ปฏิกิริยาดิน คือ ระดับขั้นของสภาพกรด หรือสภาพด่างของดิน ซึ่งแสดงด้วยค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของดิน โดยอธิบายสภาพของดินที่ค่าความเป็นกรด-เบสต่างๆ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4

ลักษณะของสภาพกรดและสภาพด่างของดินที่ค่าความเป็นกรด-เบส

ค่าความเป็นกรด-เบส	สภาพกรดหรือสภาพด่างของดิน
<3.5	กรดรุนแรงมากที่สุด (Ultra acid)
3.5-4.5	กรดรุนแรงมาก (Extremely acid)
4.6-5.0	กรดจัดมาก (Very strongly acid)
5.1-5.5	กรดจัด (Strongly acid)
5.6-6.0	กรดปานกลาง (Moderately acid)
6.1-6.5	กรดเล็กน้อย (Slightly acid)
6.6-7.3	กลาง (Neutral)
7.4-7.8	ด่างเล็กน้อย (Slightly alkaline)
7.9-8.4	ด่างปานกลาง (Moderately alkaline)
8.5-9.0	ด่างจัด (Strongly alkaline)
>9.0	ด่างจัดมาก (Very strongly alkaline)

ที่มา: ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, 2548

ข้อสังเกตในการบอกค่าปฏิกิริยาดิน

ข้อสังเกตที่ใช้ในการบอกค่าปฏิกิริยาของดิน มีดังนี้

1. หากไม่ทราบค่าความเป็นกรด-เบสของดินที่แน่นอน อาจบอกแค่ว่าดินเป็นกรดจัด หรือด่างปานกลางแทนได้

2. ควรเรียกดินที่มีค่าความเป็นกรด-เบส 6.1-6.5 ว่าดินกรดเล็กน้อย แทนที่จะเรียกดินกรดอ่อน เนื่องจากกรดอ่อน (Weak acid) และกรดแก่ (Strong acid) เป็นคำที่มีความหมายเฉพาะตัวอยู่แล้ว กล่าวคือ กรดอ่อน เมื่อละลายน้ำจะปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมาเพียงบางส่วน ไม่ปล่อยออกมาหมดเหมือนกรดเกลือซึ่งเป็นกรดแก่

อย่างไรก็ตาม ดินกรดมีสมบัติคล้ายคลึงกับกรดอ่อนมากกว่ากรดแก่ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผสมดินกรดกับน้ำ อนุภาคดินจะปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมาเพียงบางส่วน

เท่านั้น ซึ่งไฮโดรเจนไอออน (H^+) ส่วนใหญ่จะยังคงดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ค่าความเป็นกรด-เบสของดิน บอกเป็น มาตราพีเอช ซึ่งคือ มาตราที่บ่งบอกเป็นตัวเลข และตัวเลขนั้นสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลาย และเนื่องจากค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน และค่าคงที่ของการแตกตัวของน้ำ (K_w) มีความสัมพันธ์กัน (ดังตารางในภาคผนวก ก.1) ซึ่งพบว่าในสารละลาย 2 อย่าง ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 5 และ 7 นั้น มีค่าความเป็นกรด-เบสแตกต่างกันเพียง 2 หน่วยก็จริง แต่สารละลายซึ่งมีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 5 จะมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนมากกว่าสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 7 ถึง 100 เท่า ในขณะเดียวกัน ในสารละลายซึ่งมีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 7 และ 9 ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-เบสแตกต่างกันเพียง 2 หน่วยก็จริง แต่สารละลายซึ่งมีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 9 จะมีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนมากกว่าสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 7 ถึง 100 เท่า แสดงดังตารางในภาคผนวก ก.2 และ ก.3 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ผลของค่าความเป็นกรด-เบสต่อคุณสมบัติของดิน

ดินที่มีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำ แสดงว่ามีประจุบวกที่ผิวของดินมากทำให้สามารถดึงดูดกับแอนไอออนได้ดี แต่ดึงดูดกับแคทไอออนได้ไม่ดี ขณะที่ดินที่มีค่าความเป็นกรด-เบสสูง แสดงว่ามีประจุลบที่ผิวของดินมาก ทำให้สามารถดึงดูดกับแคทไอออนได้ดี แต่ดึงดูดกับแอนไอออนได้ไม่ดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

เมื่อค่าความเป็นกรด-เบสต่ำและน้อยกว่า 7 แสดงว่าดินมีความเป็นกรด โดยความเป็นกรดของดิน เกิดขึ้นจากหลายปัจจัย ยกตัวอย่างเช่น ฝนกรด ก๊าซอนุภาคบวก (gaseous plus particulate) อินทรียวัตถุ เป็นต้น โดยฝนกรด และ ก๊าซอนุภาคบวก (gaseous plus particulate) จะได้จากสารประกอบหลายประเภทดังนี้ สารประกอบซัลเฟอร์ (Sulphur compounds) สารประกอบไนโตรเจน (Nitrogen compounds) สารประกอบคลอรีน (Chlorine compounds) และสารอื่นยกตัวอย่างเช่น กรดอ่อน (กรดอินทรีย์ และ H_2CO_3) สารที่สามารถให้โปรตอน หรือไฮโดรเจนไอออนได้ หรือ Bronsted acids นอกจากนี้ความเป็นกรดของดินยังได้จากคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำ (dissolved CO_2) ด้วย โดยจะได้กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ซึ่งจากสาเหตุนี้ทำให้ดินมีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 5 ได้ ส่วนความเป็นกรดที่ได้จากอินทรียวัตถุ นั้นมาจากการ deposition อินทรียวัตถุ ยกตัวอย่างเช่น แอมโมเนียม (NH_4^+) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิ

เดชั่นอย่างช้าๆ ได้กรดไนตริก (HNO_3) (Harrison และ De Mora, 1996) ซึ่งจากการที่ดินเป็นกรดนั้นทำให้ดินมีประจุบวกอยู่ที่ผิวดินมาก ซึ่งส่งผลต่อการดูดซับสารประเภทแคทไอออน โดยพบว่าดินที่ค่าความเป็นกรด-เบสต่ำ แคดเมียมจะถูกดูดซับได้น้อย (Chusai, 2006)

เมื่อค่าความเป็นกรด-เบสเพิ่มขึ้นและมากกว่า 7 แสดงว่าดินมีความเป็นเบส หรือด่าง โดยเกิดจากหลายปัจจัย ยกตัวอย่างเช่น หินปูน คัลเซียมคาร์บอเนต และ แมกนีเซียมคาร์บอเนต โดยดินประเภทนี้จะมีเบสิกแคทไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มากด้วย (http://www.nsru.ac.th/e-learning/soil/lesson_8_5.php , 12 พฤษภาคม 2554) และจากการที่ดินเป็นเบส หรือด่าง ทำให้ดินมีประจุลบอยู่ที่ผิวดินมาก ซึ่งส่งผลต่อการดูดซับสารประเภทแคทไอออน โดยพบว่าดินที่ค่าความเป็นกรด-เบสสูง แคดเมียมจะถูกดูดซับได้มาก(Chusai, 2006)

ค่าความเป็นกรด-เบสของดินมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายของธาตุต่างๆ ในดิน รวมถึงแคดเมียมด้วยเช่นกัน โดยดินที่มีองค์ประกอบของแร่ธาตุต่างกัน ความสามารถในการละลายของแคดเมียมจะแตกต่างกันด้วย ตามค่าคงที่ของปฏิกิริยาต่างๆ ที่สภาวะสมดุล ดังตารางในภาคผนวก ก.4 โดยสารประกอบแคดเมียมแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมการละลายในดินแตกต่างกัน แสดงภาพในภาคผนวก ก.5

อินทรียวัตถุในดิน (Soil Organic Matter)

อินทรียวัตถุในดินเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ ในการควบคุมและกำหนดคุณสมบัติของดินในด้าน คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ดังต่อไปนี้

ผลของอินทรียวัตถุต่อคุณสมบัติของดินทางกายภาพ

อินทรียวัตถุที่ใส่ลงในดินช่วยปรับปรุงคุณภาพของดินให้ดีขึ้น สารประกอบฮิวมัสในอินทรียวัตถุเป็นสารที่แสดงอำนาจประจุลบซึ่งจะดูดยึดกับประจุบวก และยังมีผลให้อนุภาคดินเกาะตัวติดกัน (คณะกรรมการกำหนดมาตรการและจัดทำเอกสารอนุรักษ์ดินและน้ำและการจัดการดิน, 2539)

ผลของอินทรียวัตถุต่อคุณสมบัติของดินทางเคมี

ผลของอินทรียวัตถุต่อคุณสมบัติของดิน อินทรียวัตถุที่ใส่ลงในดินช่วยปรับปรุงคุณภาพของดินให้ดีขึ้น สารประกอบฮิวมัสในอินทรียวัตถุเป็นสารที่แสดงอำนาจประจุลบซึ่งจะดูดยึดกับประจุบวก และยังมีผลให้อนุภาคดินเกาะตัวติดกัน (คณะกรรมการกำหนดมาตรการและจัดทำเอกสารอนุรักษ์ดินและน้ำและการจัดการดิน, 2539)

ความสามารถในการดูดซับไอออนของอินทรียวัตถุในดินนั้นสูงมาก โดยทั่วไปการดูดซับโดยอินทรียวัตถุในดินจะสูงกว่าคอลลอยด์อื่นๆ ตั้งแต่ 2-3 เท่า ในดินโดยทั่วไปปริมาณของแคทไอออนที่ถูกดูดซับโดยอินทรียวัตถุในดินจะอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 30-90 ของปริมาณที่ดินดูดซับได้ทั้งหมด ผลของอินทรียวัตถุต่อการดูดซับแคทไอออนความสามารถนี้มาจาก ประจุลบที่มีอยู่มากของอินทรียวัตถุ ซึ่งส่วนใหญ่ก็เกิดจากการแตกตัว (Dissociation) ของสารประกอบบางกลุ่ม โดยเฉพาะสารกลุ่มคาร์บอกซิลิก (Carboxylic group) และสารกลุ่มฟีโนลิก (Phenolic group)

ผลของอินทรียวัตถุที่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-เบสของดิน อินทรียวัตถุในดินมีประจุลบเป็นจำนวนมาก และมีความสามารถในการดูดซับแคทไอออนได้สูง จึงมีผลทำให้ดินที่มีอินทรียวัตถุมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสของดินได้ดี

นอกจากนี้อินทรียวัตถุมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงที่สุดในบรรดาคอลลอยด์ด้วยกัน โดยมีค่าดังกล่าวเฉลี่ยสูงถึง 200 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ดินที่มีอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ดินมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงขึ้นด้วย ในดินชั้นบนพบว่าจะมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงกว่าดินชั้นล่าง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC)

การแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน (CEC) แสดงถึงความสามารถของดินในการดูดยึดและแลกเปลี่ยนไอออนบวก อนุภาคดินเหนียว เป็นอนินทรียสารที่มีรูปร่างแบนบางและมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด จะมีพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักมากที่สุด และอนุภาคเหล่านี้มีประจุลบ ซึ่งสามารถดูดยึดประจุบวกไว้ที่ผิวของมันได้เช่นเดียวกันกับฮิวมัส ซึ่งเป็นอินทรียสารที่มีขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวมากเช่นกัน ก็สามารถดูดซึมประจุบวกได้เช่นเดียวกันกับอนุภาคดินเหนียว ประจุบวกเหล่านี้ดูดยึดที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวและฮิวมัส ด้วยแรงที่เหนียวแน่นพอสมควร และทนทานต่อการชะล้างของน้ำ แต่ในขณะเดียวกัน ก็สามารถถูกไล่ที่ให้ออกหรือหลุดโดยไอออนอีก

ชนิดหนึ่งที่เป็นอิสระอยู่ในสารละลายดิน (Soil Solution) ได้ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การแลกเปลี่ยนไอออนบวก และไอออนบวกที่ดูดซับอยู่ที่พื้นที่ผิวของอนุภาคดิน หรือฮิวมัส นี้เรียกว่าไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณไอออนบวกทั้งหมดที่ดูดซับสามารถวัดได้โดยคิดจำนวนเป็น เซนติโมลต่อน้ำหนักดินอบแห้ง 1 กิโลกรัม เรียกคุณสมบัตินี้ว่า ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (Cation Exchange Capacity, CEC) ซึ่งส่วนใหญ่เนื้อดินละเอียดจะมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินมากกว่าดินเนื้อหยาบ (http://118.175.21.24/wbi1/8.htm, 11 มีนาคม 2553)

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

1. ชนิดของคอลลอยด์ในดิน (Soil Colloid) โดยค่าความสามารถในการดูดซับประจุบวกของคอลลอยด์ดินที่ต่างชนิดกัน จะแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ฮิวมัส มอนต์มอริลโลไนต์ อิลไลต์ เคโอลิไนต์ และ ไฮดรัสออกไซด์ของเหล็กและอะลูมินัม โดยเฉลี่ยแล้วจะมีค่าแตกต่างกันดังนี้ 200, 100 , 30, 8 และ 4 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้นดินที่มีฮิวมัสมากพอหรือมีพวกมอนต์มอริลโลไนต์เป็นองค์ประกอบอยู่มาก จะทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินนั้นสูงขึ้นกว่าดินอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีปริมาณดินเหนียวทั้งหมดเท่ากัน แต่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเคโอลิไนต์ และไฮดรัสออกไซด์ของเหล็ก (Fe) และอะลูมินัม (Al)

2. ปริมาณของดินเหนียวที่มีอยู่ในดิน โดยดินที่มีเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวสูงย่อมมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงกว่าดินที่มีเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวที่น้อยกว่า ดังนั้นจึงสามารถใช้ความสังเกตจากเนื้อดิน เป็นหลักเกณฑ์บอกได้อย่างคร่าวๆ ว่าดินไหนมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินมากน้อยกว่ากัน ถ้าดินนั้นมีเนื้อละเอียดโอกาสที่จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงกว่าดินที่มีเนื้อหยาบกว่าก็จะมีมาก ดังนั้นจึงสามารถที่จะประเมินความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินของดินโดยคร่าวๆ ได้จากปริมาณดินเหนียว นั่นคือทุกๆ หนึ่งเปอร์เซ็นต์ของดินเหนียวจะให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินแก่ดินประมาณ 0.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เช่น ถ้ามีดินเหนียวร้อยละ 30 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินนั้นจะประมาณเท่ากับ 15 เซนติโมลต่อกิโลกรัม

3. ปริมาณของอินทรียวัตถุในดิน เนื่องจากฮิวมัสมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงมาก ดังนั้นดินที่มีเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุสูงก็จะมีค่าความสามารถ

ในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงไปด้วย โดยทั่วไปก็อาจประเมินค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินได้จากอินทรียวัตถุ โดยทุกๆ หนึ่งเปอร์เซ็นต์ ของอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในดิน (well humified organic matter) จะให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินแก่ดินเป็นจำนวน 2 มิลลิอิควิเวเลนซ์ (คณาจารย์ในภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ปัจจัยที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดิน

การแลกเปลี่ยนระหว่างไอออนที่ดูดยึดอยู่ที่ผิวอนุภาคดินเหนียวและแคทไอออนที่อยู่ภายนอกนั้น เกิดขึ้นได้ง่ายและยากแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายอย่าง โดยปัจจัยสำคัญที่จะกล่าวไว้ในนี้คือ

1. ชนิดของแคทไอออนดูดซับและแคทไอออนเข้าแทนที่ (adsorbed cation และ replacing cation) โดยแคทไอออนต่างชนิดกันดูดซับอยู่ที่ผิวอนุภาคดินเหนียวและถูกไล่ที่ออกจากผิวดินเหนียวโดยแคทไอออนชนิดอื่นๆ ได้ยากและง่ายแตกต่างกันออกไป บางชนิดดูดยึดอยู่ที่พื้นผิวดินเหนียวได้เพียงหลวมๆ และถูกแทนที่ได้ง่าย บางชนิดดูดยึดอยู่ที่พื้นผิวดินเหนียวค่อนข้างเหนียวแน่นและถูกแทนที่ได้ยาก ได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับอำนาจในการไล่ที่และความเหนียวแน่นในการดูดยึดของแคตไอออนี่ผิวดินเหนียวนั้น ปรากฏว่าแคตไอออนต่างๆ มีอำนาจการเข้าแทนที่ (Replacing power) แตกต่างลดหลั่นกันลงไปดังนี้คือ $Li^{+} < Na^{+} < K^{+} < Mg^{+2} < Ca^{+2} < NH^{+4} < Al^{+3}(H)^{+}$ นั่นคือ Na^{+} สามารถไปไล่ที่ Li^{+} ได้ง่ายกว่าที่ Li^{+} จะไล่ที่ Na^{+} หรืออาจจะกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งก็คือ Na^{+} จะดูดยึดอยู่ที่ผิวดินเหนียวได้เหนียวแน่นกว่า Li^{+} แต่จะเหนียวแน่นน้อยกว่า K^{+}, Ca^{+2} ฯลฯ ตามลำดับ

2. ลำดับของอำนาจการเข้าแทนที่ (Replacing power) ของแคตไอออนต่างๆ ที่กล่าวไว้นี้อาจจะมีแคตไอออนบางตัวสลับที่กันก็ได้ แล้วแต่สภาพของการแลกเปลี่ยนไอออน เพราะมีปัจจัยอื่นๆ เกี่ยวข้องอยู่มาก อย่างไรก็ตามอาจวางหลักเกณฑ์ไว้ได้กว้างๆ ว่า การที่แคตไอออน มีอำนาจการเข้าแทนที่ต่างกันนั้นก็เนื่องด้วยสาเหตุที่สำคัญสองประการคือ

2.1 วาเลนซ์ของแคตไอออน โดยทั่วไปเมื่อมีสภาพอย่างอื่นที่เหมือนกันแคตไอออนที่มีวาเลนซ์สูงย่อมจะมีอำนาจในการไล่ที่สูงและเกาะยึดอยู่ที่ผิวดินเหนียวเหนียวแน่นกว่าแคตไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำกว่า ยกตัวอย่างเช่น โซเดียมไอออน (Na^{+}) ซึ่งเป็นโมโนเวเลนซ์ (monovalence) จะเกาะยึดอยู่ที่พื้นผิวอนุภาคดินเหนียว (clay) ด้วยแรงที่อ่อนกว่า แคลเซียมไอออน (Ca^{+2}) ซึ่งเป็นไดเวเลนซ์ (divalence) และในทำนองเดียวกันแคลเซียมไอออน (Ca^{+2}) จะเกาะยึดอยู่ที่ผิวอนุภาคดินเหนียวด้วยแรงที่น้อยกว่าอะลูมินัมไอออน (Al^{+3}) ซึ่งเป็นไตรเวเลนซ์

(Trivalence) ในทางกลับกัน อะลูมินัมไอออน (Al^{+3}) จะไล่ที่แคลเซียมไอออน (Ca^{+2}) ได้ง่ายกว่าแคลเซียมไอออน (Ca^{+2}) ที่จะเข้ามาไล่ที่อะลูมินัมไอออน (Al^{+3}) ให้ออกไป จากผิวดินเหนียว ส่วนแคตไอออนที่มีวาเลนซ์ เท่ากันนั้น ความแตกต่างของอำนาจการเข้าแทนที่ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับสาเหตุที่สองคือขนาดไอออน (ionic size)

2.2 ขนาดไอออน ขนาดแคตไอออนนั้นในที่นี้หมายถึงขนาดของ hydrated cation คือรวม water shell (hull) ที่ห่อหุ้มแคตไอออนนั้นๆ ด้วย เพราะโดยธรรมชาติแคตไอออนจะมีน้ำห่อหุ้มอยู่เป็นเปลือกเสมอ เปลือกของน้ำที่ห่อหุ้มนี้จะหนาและบางไม่เท่ากัน จะขึ้นอยู่กับขนาดจริงๆ ของแคตไอออนนั้นๆ (dehydrated ionic radii) ถ้าขนาดจริงเล็กจะมี water shell หนา แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าขนาดจริงๆ ของ cation นั้นโตมาแต่เดิม water shell ก็จะบาง ทั้งนี้อธิบายได้จากกฎของคูลอมบ์ (Coulomb's Law) นั่นคือ

$$F = k \frac{e^{+}e^{-}}{d^{2}} \quad \text{.....(2.2)}$$

เมื่อ F = แรงดึงดูดซึ่งกันและกันระหว่างประจุบวกและลบ

e^{+} และ e^{-} = จำนวนประจุบวกและลบ ตามลำดับ

d = ระยะระหว่างศูนย์กลางของประจุทั้งสอง

k = ค่าคงที่

ซึ่งอธิบายได้ว่า แรงดึงดูดซึ่งกันและกันระหว่างประจุบวกและลบนั้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับผลคูณของจำนวนประจุทั้งสอง แต่จะเป็นปฏิภาคโดยทางกลับกับระยะทางระหว่างประจุทั้งสองยกกำลังสองนั่นก็หมายความว่าเมื่อระยะทางระหว่างประจุทั้งสองยิ่งห่างกันออกไปแรงดึงดูดซึ่งกันและกันก็จะลดลงอย่างมาก

เมื่อขนาดของแคตไอออนจริงๆ เล็ก เมื่อมีโมเลกุลของน้ำมาดูดยึดนั้นระยะทางจากศูนย์กลางแคตไอออนมายังศูนย์กลางของโมเลกุลของน้ำก็จะสั้นกว่าของแคตไอออนที่โตกว่า แรงดึงดูดกันระหว่างแคตไอออนที่เล็กกับโมเลกุลของน้ำจะสูงกว่าจึงสามารถดึงดูดโมเลกุลของน้ำล้อมรอบไว้ได้หลายชั้น จึงทำให้ water shell หนากว่าด้วย ลำดับขนาดจริงๆ และขนาดที่รวมทั้ง water shell ของแคทไอออนที่สำคัญๆ มีดังนี้

2.2.1 โมโนเวเลนซ์ (Monovalent)

Dehydrated ionic size; $Li^{+} < Na^{+} < K^{+} < NH^{+4} < Rb^{+} < Cs^{+}$

Hydrated ionic size; $Li^{+} > Na^{+} > K^{+} > NH^{+4} > Rb^{+} > Cs^{+}$

2.2.2 ไดเวเลนซ์ (Divalent)

Dehydrated ionic size; $Mg^{+2} < Ca^{+2} < Sr^{+2} < Ba^{+2}$

Hydrated ionic size; $Mg^{+2} > Ca^{+2} > Sr^{+2} > Ba^{+2}$

จาก Coulomb's law สามารถอธิบายได้ว่าแคทไอออนที่มีวาเลนซ์เท่ากัน ถ้ามี water shell หนาเกาะยึดอยู่ที่ผิวดินเหนียวด้วยแรงที่ต่ำกว่าแคตไอออนที่มี water shell ที่บางกว่า และจะถูกไล่ที่ออกจากผิวดินเหนียวได้ง่ายกว่าด้วย

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอำนาจในการแลกที่กันของแคทไอออนนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของแคทไอออนนั้นๆ (Hydrated ionic size) เป็นอย่างมาก โดยอำนาจในการไล่ที่อาจจะเท่ากันหรือน้อยกว่าได้เหมือนกัน และในการกล่าวถึงขนาดของไอออนในระบบสารคอลลอยด์จะหมายถึงขนาดของไอออนที่รวมถึง water shell ด้วย

3. ความเข้มข้นของแคทไอออนเข้าแทนที่ (Replacing cation) โดยปกติถ้าปริมาณของแคทไอออนเข้าแทนที่มีมากก็ทำให้การไล่ที่แคทไอออนที่อยู่ที่ผิวดินเหนียวง่ายขึ้น ซึ่งเป็นหลักของ mass action ยกตัวอย่างเช่น แม้ว่าโซเดียมไอออน (Na^{+}) จะมีอำนาจการไล่ที่แคลเซียมไอออน (Ca^{+2}) น้อยกว่าที่แคลเซียมไอออน (Ca^{+2}) จะไล่ที่โซเดียมไอออน (Na^{+}) แต่ถ้ามีโซเดียมไอออน (Na^{+}) เป็นจำนวนมากๆ ก็สามารถที่จะไล่ที่แคลเซียมไอออน (Ca^{+2}) ออกไปให้หมดจากผิวของอนุภาคดินเหนียว (clay) ได้

4. ปริมาณการอิ่มตัว (degree of saturation) โดยปริมาณของการอิ่มตัวของแคทไอออนบางชนิดที่ดูดซับอยู่ที่ผิวดินเหนียวจะมีอิทธิพลต่อความยากง่ายที่แคทไอออนนั้นจะถูกไล่ที่ออกมาเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น แคลเซียมแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca^{+2}) ที่ผิวของดินเหนียวยิ่งเหลือน้อยเท่าใดความยากที่จะไล่ที่แคลเซียมไอออน (Ca^{+2}) ออกไปจากผิวดินเหนียวให้หมดก็ยิ่งยากขึ้นเท่านั้น แต่ในทางตรงกันข้ามโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Na^{+}) ยิ่งเหลือน้อยอยู่บนผิวดินเหนียวเท่าใดก็ยิ่งง่ายต่อการที่จะถูกไล่ที่ออกไปมากขึ้นเท่านั้น ส่วนแคทไอออนบางชนิดเช่น โพแทสเซียมไอออน (K^{+}) และแมกนีเซียมไอออน (Mg^{+2}) นั้นจะไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณอิ่มตัวของไอออน เป็นต้น

5. แคทไอออนอื่นที่อยู่ร่วมด้วยบนผิวของดินเหนียว (Complementary exchangeable cation) ในบางครั้งแคทไอออนอื่นๆ ที่ดูดยึดอยู่บนผิวดินเหนียวร่วมกับแคทไอออนที่ต้องการจะไล่ที่นั้นก็มีบทบาทสำคัญเหมือนกัน อาทิเช่นโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K^{+}) จะถูกไล่ที่ออกมาได้ง่ายขึ้นเมื่ออยู่ร่วมกับอูมิเนียมแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Al^{+3}) หรือไฮโดรเจนไอออน (H^{+}) แต่จะถูกไล่ที่ได้ยากขึ้นเมื่ออยู่ร่วมกับแคลเซียมแลกเปลี่ยนได้ (คณาจารย์ในภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

นอกจากปัจจัยข้างต้นแล้ว ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของดินมีอิทธิพลต่อการกักเก็บแคทไอออนอื่นๆ ซึ่งรวมถึงแคดเมียมด้วย จากการศึกษาความสามารถในการกักเก็บแคทไอออนของเหล็กไฮดรอกซีออกไซด์ (Fe hydroxyoxide) อะลูมินัมไฮดรอกไซด์ (Al hydroxide) และ ซิลิกา โดยแคทไอออนที่ศึกษา ประกอบด้วย ตะกั่ว (Pb) คอปเปอร์ (Cu) สังกะสี (Zn) นิกเกิ้ล (Ni) แคดเมียม (Cd) โคบอล (Co) สทรอนเที่ยม (Sr) และแมกนีเซียม (Mg) พบว่า

1 ความสามารถในการกักเก็บ (The relation retention) แคทไอออนของเหล็กออกซีออกไซด์ ได้ผลดังนี้ $Pb > Cu > Zn > Ni > Cd \geq Co > Sr > Mg$

2 ความสามารถในการกักเก็บ (The relation retention) แคทไอออนของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ ได้ผลดังนี้ $Cu > Pb > Zn > Ni > Co \geq Cd > Mg > Sr$

3 ความสามารถในการกักเก็บ (The relation retention) แคทไอออนของซิลิกา ได้ผลดังนี้ $Pb > Cu > Co > Zn > Ni = Cd > Sr > Mg$

(Bohn, McNeal, และ O'Connor, 2001)

ปัญหามลพิษทางดิน

ดินเป็นมลสารที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศได้หลายกรณี ดังต่อไปนี้

1 การฟุ้งกระจายของเม็ดดินในรูปของฝุ่นก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ ความรุนแรงของปัญหาและบริเวณที่เกิดปัญหาจะขึ้นอยู่กับสภาพของอุตุนิยมวิทยา รวมทั้งขนาดของ เม็ดดิน ที่ฟุ้งกระจาย นอกจากการเกิดปัญหาดังกล่าวแล้ว ฝุ่นของดินยังก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางสายตา ผงฝุ่น ยังทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง อีกทั้งยังทำให้ระบบหายใจของมนุษย์และสัตว์มีปัญหา

2 ปริมาณกากตะกอนที่กองอยู่บนดินและมูลสัตว์ต่างๆ เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการเกิดปัญหาเรื่องกลิ่นและการปลดปล่อยก๊าซหลายชนิดสู่บรรยากาศ เช่น มีเทน (CH_4) สารประกอบของไนโตรเจน และสารประกอบของซัลเฟอร์ ทำให้เกิดปัญหาอันจะเป็นส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศได้

3 นอกจากนี้ดินยังปลดปล่อยสารประกอบที่สามารถระเหยได้สู่บรรยากาศ เช่น การปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปของก๊าซ โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) การย่อยสลายของอินทรีย์สารต่างๆ ในดิน จะปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งก๊าซทั้งสองชนิดนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกได้ด้วย

เนื่องจากดินเป็นแหล่งรองรับมลสารต่างๆ ทั้งที่เป็นพิษและไม่เป็นพิษ ดินเป็นแหล่งรองรับและปกปิดสิ่งของต่างๆ ทั้งสารเคมี สารพิษ พลาสติก กระดาษ โฟม เศษอาหาร ซากพืช ซากสัตว์ โดยสิ่งของต่างๆ เหล่านี้มีทั้งสิ่งของที่สามารถเน่าเปื่อย ย่อยสลายผุพังไปตามกาลเวลา และไม่สามารถเน่าเปื่อยย่อยสลายผุพัง ซึ่งดินทำหน้าที่ในการรองรับสิ่งของต่างๆ ที่ทิ้งลงสู่ดินนั่นเอง ดินมีคุณสมบัติที่มีประจุทำให้สามารถดูดซับสารเคมีหรือสารพิษที่มีประจุ ดินมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของสารต่างๆ ในดิน ทำให้เกิดสารประกอบที่ลดความเป็นพิษ หรือเกิดสภาวะ หรือเกิดสารใหม่ ที่มีสภาพไม่ก่อให้เกิดพิษ จุลินทรีย์ในดินก็สามารถใช้สารเคมีหรือสารพิษบางชนิดเป็นแหล่งของพลังงาน ทำให้สารพิษนั้นลดความเป็นพิษ รวมทั้งมีปริมาณลดลง นอกจากนี้แล้ว สารเคมีและสารพิษบางชนิด เป็นธาตุอาหารพืช หรือมีส่วนทำให้ธาตุอาหารในดินเพิ่มมากขึ้น หรือลดลงในปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย

ดินสามารถที่จะรองรับโลหะหนักและสารพิษต่างๆ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้ จากการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ ในชีวิตประจำวันของมนุษย์แล้วปล่อยทิ้งลงสู่ดิน ดินมีคุณสมบัติที่สามารถรองรับสารต่างๆ ได้เนื่องจากดินมีอนุภาคของสารคอลลอยด์ ทั้งชนิดอินทรีย์และ อนินทรีย์ ประกอบกับการที่ดินมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ดินมีองค์ประกอบของอนุภาคทั้งบวกและลบ จึงทำให้ดินสามารถที่จะดูดซับ ยึดเกาะโลหะหนัก สารเคมีอินทรีย์ สารเคมีอนินทรีย์ต่างๆ ไว้ได้ ทั้งนี้ความสามารถของดินในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดีเพียงใดขึ้นกับสภาพของความเป็นกรด – ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุที่อยู่ในดิน รูปทางเคมีของโลหะหนักและของสารเคมีอินทรีย์ สารเคมีอนินทรีย์ อุณหภูมิ สภาพการระบายน้ำและลักษณะของเนื้อดิน (http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter4/chapter4_soil9.htm, 12 พฤษภาคม 2554)

ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ของการสะสมสารประกอบชนิดหนึ่งหรือสารประกอบหลายชนิดไว้บนผิวของแข็ง โดยไม่เปลี่ยนโครงสร้างของแข็งนั้น ระบบของแข็งที่เก็บสะสมสารประกอบอื่นๆ ไว้บนผิว เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) ส่วนสารประกอบต่างๆ ที่สะสมบนผิวของตัวดูดซับ (adsorbate) (เดชา ฉัตรศิริเวช, 2552)

การดูดซับเกิดขึ้นด้วยแรงระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ โดยจำแนกแรงดังกล่าวออกเป็น 2 ชนิด คือ แรงกายภาพและแรงเคมี การดูดซับจึงจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ตามชนิดของแรงที่ดูดจับโมเลกุลของสารถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวดูดซับดังนี้

1 การดูดซับแบบกายภาพ (Physisorption) คือการดูดหรือดึงสารถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวดูดซับด้วยแรงกายภาพชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดร่วมกัน แรงกายภาพของการดูดซับประเภทนี้ ได้แก่ แรงดึงดูดระหว่างขั้วของสารถูกดูดซับกับขั้วบนผิวตัวดูดซับ แรงดึงดูดระหว่างประจุของสารถูกดูดซับชนิดไอออนกับประจุบนผิวตัวดูดซับ และแรงดึงดูดมวลระหว่างโมเลกุลสารถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ

2 การดูดซับแบบเคมี (Chemisorption) คือการเกิดพันธะเคมีหรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ

จากคุณการดูดซับทางกายและทางเคมีมีความแตกต่างหลายประการ ดังนี้ การดูดซับทางกายภาพจะมีค่าความร้อนของการดูดซับและอุณหภูมิที่เกิดการดูดซับน้อยกว่าการดูดซับทางเคมี นอกจากนี้การดูดซับทางกายภาพใช้แรงแวนเดอร์วาล์วในการดึงดูดโมเลกุล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดพันธะเคมี การดูดซับทางกายภาพเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ และเกิดการดูดซับแก๊สบนของแข็งได้เกือบทุกชนิด และรูปแบบการดูดซับของการดูดซับทางกายภาพมีทั้งแบบชั้นเดียวและการดูดซับแบบหลายชั้น (ตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.5

ความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50-400 กิโลจูลต่อโมล
2. อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาล์ว	พันธะเคมี
4. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
5. การดูดซับแก๊สบนของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดได้บางระบบ
6. พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
7. รูปแบบชั้นของการดูดซับ	ดูดซับแบบชั้นเดียว และหลายชั้น	การดูดซับแบบชั้นเดียว

ที่มา: http://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/, มปป.

แบบจำลองสมดุลการดูดซับสารชนิดเดียวมีหลายประเภทโดยแบ่งตามลักษณะการดูดซับ โดยที่นิยมใช้คือ แบบจำลองสมดุลการดูดซับของแลงมัวร์ และแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิช

1 แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ (Langmuir's isotherm) เป็นแบบจำลองของการดูดซับสารถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับโดยตรงเท่านั้น หรือเป็นแบบจำลองของระบบดูดซับชั้นเดียว (Monolayer adsorption) เมื่อการดูดซับเกิดขึ้นเต็มพื้นผิวของตัวดูดซับในระบบแล้ว หรือไม่มีพื้นผิวว่างของตัวดูดซับเหลือตัวดูดซับดังกล่าวไม่สามารถดูดซับสารถูกดูดซับนั่นได้อีก ณ อุณหภูมิที่กำหนดไว้ โดยลักษณะการดูดซับดังกล่าวจึงเรียกว่า "การดูดซับอิ่มตัว" แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่กำหนดลักษณะของระบบสมดุลดูดซับจำนวน 2 พารามิเตอร์ คือ ค่าคงที่สมดุลดูดซับของแลงมัวร์ (K_L) และปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะสูงสุด (q_m) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$q = \frac{q_m K_L C}{1+K_L C} \quad \text{..... (2.3)}$$

เมื่อ q = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ หน่วย (กรัมต่อกรัม)

C = ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล หน่วย (กรัม/ลูกบาศก์เมตร)

q_m = ปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะสูงสุด หน่วย (กรัมต่อกรัม)

K_L = ค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับของแลงมัวร์

จากสมการที่ 2.3 สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของแลงมัวร์ (K_L) และปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะสูงสุด (q_m) จากค่าความชันและจุดตัดแกนตั้งดังสมการเส้นตรงต่อไปนี้

$$\frac{1}{q} = \left(\frac{1}{q_m K_L}\right)\frac{1}{C} + \frac{1}{q_m} \quad \text{..... (2.4)}$$

แม้ว่าปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะสูงสุด (q_m) เป็นพารามิเตอร์สำคัญพารามิเตอร์หนึ่งที่กำหนดลักษณะเฉพาะของแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ (Langmuir's isotherm) ของระบบดูดซับสารถูกดูดซับในของเหลวดังกล่าว แต่ค่าปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะสูงสุด (q_m) ดังกล่าว อาจไม่ใช่ปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะสูงสุดที่เกิดขึ้นได้จริงในระบบดูดซับของเหลวนั้น เมื่อความเข้มข้นสมดุลของสารถูกดูดซับดังกล่าวมีค่าจำกัด เช่น ความเข้มข้นของไอออนชนิดต่างๆ ในน้ำ มักมีค่าน้อยกว่าค่าความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบของไอออนชนิดนั้นๆ เป็นต้น นั่นคือปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะสูงสุดของระบบดูดซับสารถูกดูดซับในของเหลวนั้น อาจถูกจำกัดด้วยความสามารถในการละลายของสารถูกดูดซับในของเหลวนั้น หรือความเข้มข้นอิ่มตัวของสารละลายดังกล่าว ณ อุณหภูมิของระบบดูดซับของเหลวนั้นๆ เมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่สมนัยกับปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะสูงสุด (q_m) ของแบบจำลองสมดุลดูดซับแลงมัวร์ (Langmuir's isotherm) มีค่าสูงกว่าค่าการละลายของสารถูกดูดซับในของเหลวชนิดนั้น ณ อุณหภูมิเดียวกัน (เดชา ฉัตรศิริเวช, 2552)

ข้อจำกัดของแบบจำลองสมดุลดูดซับแบบแลงมัวร์ มีหลายข้อดังนี้

1.1 จำนวนของพื้นผิวตัวดูดซับมีจำนวนจำกัด

1.2 เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวหรือ Monolayer

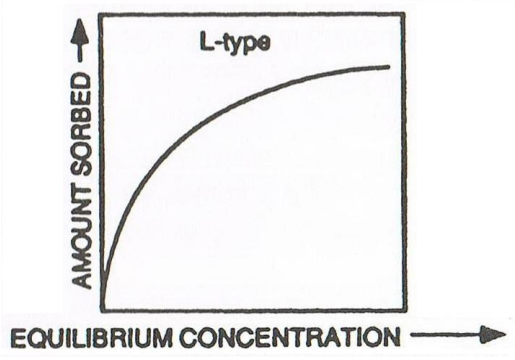
1.3 พฤติกรรมการดูดซับไม่ขึ้นกับพื้นผิวที่ห่อหุ้ม

1.4 พื้นที่ที่เกิดการดูดซับทั้งหมดจะถูกแทนที่ด้วยกลุ่มฟังค์ชั่น (Functional group) ที่เหมือนกัน

1.5 การดูดซับเป็นแบบ L-type behavior ซึ่งอธิบายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ และมักเป็นการดูดซับแบบเคมี ดังภาพที่ 2.3 (Evangelou, 1988)

ภาพที่ 2.3

การดูดซับแบบ L-type behavior



ที่มา: Environmental Soil and Water Chemistry, 1998

2 แบบจำลองสมดุลดูดซับแบบฟรุนดลิช เป็นแบบจำลองการดูดซับอีกแบบที่นิยมใช้ โดยแตกต่างจากแบบแลงมัวร์ตรงที่ไม่สามารถบอกปริมาณตัวถูกดูดซับไว้มากที่สุดต่อปริมาณตัวดูดซับได้ มีสมการการดูดซับดังต่อไปนี้

$$q = K_F C^{1/n} \quad \text{.....(2.5)}$$

เมื่อ q = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ

K_F = ค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับของฟรุนดลิช

1/n = ค่าสัมประสิทธิ์จากการทดลอง

C = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล หน่วยเป็นความเข้มข้น เช่น โมลต่อลิตร

นั่นคือ เมื่อดัชนีชี้กำลัง (n) ของแบบจำลองสมดุลดูดซับมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง แบบจำลองสมดุลดูดซับของเหลวของฟรุนดลิช (Fruendlich's isotherm) นี้จะมีลักษณะโค้งคว่ำ แต่ถ้าดัชนีชี้กำลัง (n) ของแบบจำลองสมดุลดูดซับนี้มีค่ามากกว่าหนึ่ง แบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิชนี้จะมีลักษณะโค้งหงาย และค่าคงที่สมดุลดูดซับของเหลวของฟรุนดลิช (K_F) จะเปลี่ยนเป็นค่าคงที่สมดุลดูดซับของเหลวของเฮนรี (K_H) เมื่อดัชนีชี้กำลัง (n) ของแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิชมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง ค่าคงที่สมดุลดูดซับของเหลวของฟรุนดลิช (K_F) และดัชนีชี้กำลัง (n) ของแบบจำลองสมดุลดูดซับของเหลวของฟรุนดลิชนี้ คำนวณจากจุดตัดแกนตั้งและความชันของความสัมพันธ์เส้นตรงของค่าลอการิทึมของปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะ (ln q) กับค่าลอการิทึมของความเข้มข้นสมดุลของสารถูกดูดซับในของเหลว (ln C) ในลักษณะเดียวกับแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิชสำหรับระบบดูดซับก๊าซหรือระบบดูดซับไอดัง สมการที่ 2.3 (เดชา ฉัตรศิริเวช, 2552)

$$\ln q = (1/n)\ln C + \ln K_F \quad \text{..... (2.6)}$$

ข้อจำกัดของแบบจำลองสมดุลดูดซับแบบฟรุนดลิช มีหลายข้อดังนี้

2.1 การดูดซับเป็นแบบ C-type behavior (ภาพที่ 2.4)(Evangelou, 1988)

2.2 ใช้อธิบายการดูดซับที่พื้นผิวตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous surface) และไม่เป็นการดูดซับแบบเคมี

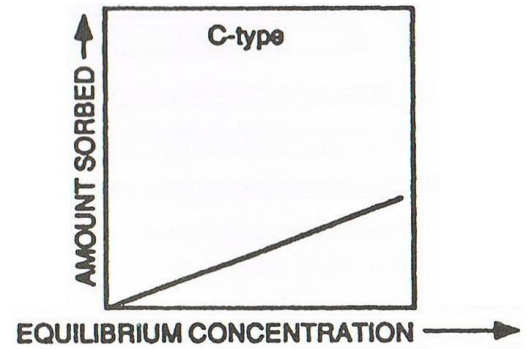
2.3 เป็นการดูดซับทางภาพโดยโมเลกุลของสารไม่มีการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวตัวดูดซับ

2.4 เมื่อปริมาณตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวจะเพิ่มขึ้นอย่างไม่จำกัด

2.5 โดยทั่วไปแล้วการทดลองส่วนใหญ่ที่ใช้การดูดซับแบบ แวน เดอร์ วาล์ว (Van der Waals Adsorption) ที่ช่วงความเข้มข้นกลางๆ จะอธิบายด้วย สมการการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Noll, Gounaris, และ Wain-Sun, 1991)

ภาพที่ 2.4

การดูดซับแบบ C-type behavior



ที่มา: Environmental Soil and Water Chemistry, 1998

สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด

อาจแบ่งได้ 5 ประเภท ดังต่อไปนี้

1 สารอินทรีย์ เช่น ดินเหนียว

2 ถ่านกัมมันต์ จัดเป็นสารอินทรีย์พวกสารประกอบคาร์บอน ซึ่งมีการใช้งานอยู่ 2 ชนิด คือ แบบผง (Powder Activated Carbon; PAC) และแบบเม็ด (Granular Activated Carbon; GAC) ซึ่งเป็นสารดูดซับที่ดีกว่าสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตรต่อกรัม (http://en.wikipedia.org/wiki/Activated_carbon, 12 พฤษภาคม 2554)

3 สารอินทรีย์สงเคราะห์ เช่น เรซิน

4 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ขี้เลื่อย, ไคโตซาน, ซังข้าวโพด ได้แก่ ซังข้าวโพด ซึ่งได้นำมาใช้ดูดซับ PCP ที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากโรงงานไม้พารา ถ่านที่เตรียมจากของเสียของปุ๋ยจากพื้นที่การเกษตร และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว

5 สารดูดซับชีวภาพ เช่น เซลล์จุลินทรีย์ ชีวมวลเชื้อรา (กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ คือธรรมชาติของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ธรรมชาติของตัวดูดซับ

1 ธรรมชาติของตัวดูดซับ ธรรมชาติของตัวดูดซับเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับธรรมชาติของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับ ได้แก่

1.1 พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน พื้นที่ผิวเป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับในการดูดซับ นั่นคือความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมากขึ้น แต่พื้นที่ผิวโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เพราะถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนของโมเลกุลของตัวดูดซับได้การดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับก็มีผลต่อการดูดซับเช่นกัน คือถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของโมเลกุลตัวดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับจะต่ำลงด้วย

1.2 ขนาดของตัวดูดซับ อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ การลดขนาดของตัวดูดซับให้มีขนาดเล็กทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเร็วขึ้นกว่าสารที่มีขนาดใหญ่

2 เคมีที่ผิวหน้า หมู่ฟังก์ชันเฉพาะที่อยู่บนผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมีสมบัติที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์และมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรด ความสามารถในการดูดซับจะลดลงด้วย แต่หากมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่คาร์บอนิล ความสามารถดูดซับจะเพิ่มขึ้น

3 ธรรมชาติของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ ธรรมชาติของตัวดูดซับจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับดังนี้

3.1 ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการละลายที่สูงจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปฏิกิริยาของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย ทำให้การแพร่ขยายการดูดซับลดลง เพราะก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน

3.2 น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล มีผลต่อความสามารถในการดูดซับเมื่อน้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูด

ซับจะเพิ่มขึ้น เช่น กรณีสารที่ถูกดูดซับเป็นสารอินทรีย์ ถ้าจำนวนอะตอมคาร์บอนมากขึ้นการดูดซับจะมากขึ้นเพราะการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลจะทำให้ความสามารถในการละลายลดลง

3.3 ความมีขั้ว (Polarity) ของโมเลกุล นอกจากธรรมชาติของโมเลกุลของสาแล้วยังขึ้นอยู่กับตัวทำละลายและตัวดูดซับของสารด้วย ซึ่งความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อความมีขั้วเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มความมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

4 อัตราเร่งของการปั่นกวน อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ Film diffusion และ Pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับ จะมีความหนามากเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับทำให้ Film diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูงทำให้ Pore diffusion เป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วการดูดซับ ทำให้อัตราการดูดซับเร็วขึ้น
(สันทัด ศิริอนันต์ไพบูรณ์, 2549 อ้างถึง Faust & Aly, 1987)

5 ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน, $[H^+]$ หรือค่าความเป็นกรด-เบส โดยถ้าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน, $[H^+]$ ลดลง อัตราการดูดซับจะเร็วและมาก เพราะเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน, $[H^+]$ เพิ่มขึ้นและยังสามารถเกาะติดผิวคาร์บอน (เช่น ถ่านกัมมันต์) ได้ดี ทำให้คาร์บอนมีสภาพเป็นกลางเสมอ เนื่องจากคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ค่อนข้างจะมีประจุลบเล็กน้อย จึงทำให้โมเลกุลไม่มีขั้ว (non polarity) ของสารในน้ำมาเกาะที่ผิวคาร์บอนได้ดี ซึ่งค่าความเป็นกรด-เบสมีผลต่อความสามารถดูดซับ

6 ผลของอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้นแต่ความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลง เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน
(บัณฑิต อนุรักษ์, มปป.)

คุณลักษณะของโลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึงโลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู เป็นต้น สารพิษเหล่านี้เมื่อสะสมอยู่ในร่างกายจนถึงระดับหนึ่งก็จะแสดงอาการออกมาให้เห็น ซึ่งผลของความเป็นพิษของโลหะหนักต่อกลไกระดับเซลล์มี 5 แบบ คือ ทำให้เซลล์ตาย เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ เป็นตัวการทำให้เกิดมะเร็ง เป็นตัวการทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม และทำความเสียหายต่อโครโมโซม ซึ่งเป็น

ปัจจัยทางพันธุกรรม (http://www.nsm.or.th/nsm2008/modules.php?name=News&file=article&sid=1653, 1 มีนาคม 2553)

โลหะหนักจัดอยู่ในกลุ่มธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 4 ขึ้นไป (ตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะได้ที่ website http://www.lenntech.com/periodic-chart.htm) และส่วนใหญ่เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชั่น (Transition metals) ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต โลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน ดินตะกอนที่อยู่ในน้ำ รวมถึงการสะสมอยู่ในสัตว์น้ำ

โลหะหนักเป็นวัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้ในหลายภาคส่วน เช่น ในด้านอุตสาหกรรม เราใช้โลหะหนักในการผลิตพลาสติก พีวีซี สี ถ่านไฟฉาย สำหรับทางด้านการเกษตร โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและปุ๋ย ขณะเดียวกันทางการแพทย์ใช้โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยา อุปกรณ์ทางการแพทย์และเครื่องสำอาง น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเหล่านี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในการดำรงชีพ (http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=7, 1 มีนาคม 2553)

โลหะหนักในดิน (Heavy metal in soil) มีการเปลี่ยนแปลงวาเลนซ์อยู่เสมอ สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้สูง และมักทำปฏิกิริยากับกลุ่มซัลไฟด์ โลหะหนักในดิน มักจะอยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ของโลหะ เช่น โลหะออกไซด์ โลหะหนักไฮดรอกไซด์ และโลหะคาร์บอเนต ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ความเสถียรของสารประกอบอนินทรีย์ ของโลหะในดิน จะขึ้นกับ ค่าความเป็นกรด-เบส ของดิน โดยดินจะเสถียรเมื่อดินมีค่าความเป็นกรด-เบส เป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อย ถ้าดินเป็นกรด จะทำให้โลหะนี้ละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินซึ่งความเป็นพิษของโลหะหนักจะแพร่กระจายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ในความเข้มข้นน้อยๆ อย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มจากการสะสม ในดิน และรากพืชดูดไปด้วยกระบวนการ ion absorption ซึ่งเป็นการดูดแบบวิธีการแลกเปลี่ยนประจุ (วรกาย อุตส่าห์, 2541) และเมื่อสิ่งมีชีวิตบริโภคพืชนั้นก็จะเกิดการสะสม ในสิ่งมีชีวิตนั้นต่อไป

ปัจจัยที่มีผลต่อโลหะหนักในดิน

1 การที่โลหะไอออนบวกอื่นที่มีอยู่ในดินอาจมีผลทำให้การดูดซับไอออนบวกชนิดหนึ่งๆ มากขึ้นหรือน้อยลงเนื่องจากเกิดการแย่งตำแหน่งการเกาะยึดบนอนุภาคดิน

2 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน คือ โลหะไอออนบวกสามารถทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ ทั้งสารประกอบอินทรีย์ และอนินทรีย์ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้ประจุบวกลดลง

กลายเป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ หรือมีประจุลบได้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโลหะ ชนิด และปริมาณของลิแกนด์ คุณสมบัติของพื้นผิวอนุภาคดิน องค์ประกอบในสารละลายดิน ค่าความเป็นกรด-เบส และสภาพรีดอกซ์

3 ค่าความเป็นกรด – เบส ตำแหน่งการดูดซับหลายประเภทของในดิน ได้แก่ ออกไซด์ของเหล็ก และแมงกานีส อินทรียวัตถุ คาร์บอเนต และขอบของอนุภาคแร่ดินเหนียว จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-เบส ของดิน เมื่อค่าความเป็นกรด-เบสลดลง จำนวนตำแหน่งการดูดซับไอออนบวกจะลดลง ในขณะที่ตำแหน่งการดูดซับไอออนลบจะเพิ่มขึ้น เช่น เมื่อค่าความเป็นกรด-เบส เป็นกรดอะลูมินัมไอออน (Al^{3+}) และไฮโดรเจนไอออน (H^{+}) อาจเข้ามาแทนที่ตำแหน่งไอออนบวกในดินได้ เป็นต้น

4 สภาพออกซิเดชัน-รีดักชัน ของดิน จะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในดิน โดยที่การเกิดสภาวะออกซิเดชัน จะทำให้โลหะหนักสามารถถูกดูดซับไว้ในดินได้ดี และในขณะที่เกิดสภาวะรีดักชัน การเคลื่อนที่ของโลหะจะเพิ่มขึ้น

5 ของเสียที่ปะปนมากับไอออน เช่น อินทรียวัตถุ ของเสียประเภทโลหะจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือแหล่งกำเนิดอื่นๆ เป็นต้น (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539)

แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม

แคดเมียมเป็นธาตุโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว มีคุณสมบัติเบา อ่อน ดัดโค้งง่าย และทนต่อการกัดกร่อน มีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) 8.65 ค่า Mohs hardness 2.0 ค่า refractive index 1.13 จุดหลอมเหลว (melting point) 302.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด (boiling point) 767 องศาเซลเซียส มีความดันไอ (vapor pressure) 1.4 มิลลิเมตร ที่ 400 องศาเซลเซียส และ 16 มิลลิเมตร ที่ 500 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อมีการใช้ความร้อนสูง เช่น การอบแร่ การบัดกรี การหลอมเหล็ก และการเผาของเสีย จะทำให้มีไอของแคดเมียมออกมาได้ในระหว่างกระบวนการที่มีการให้ความร้อน และไอของแคดเมียมในอากาศจะถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็วไปเป็นแคดเมียมออกไซด์ (CdO)

นอกจากนี้แคดเมียมยังเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก (HNO_3) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เจือจางซึ่งจะทำให้เป็นอันตรายต่อคนแบบเฉียบพลันเมื่อรับประทานเข้าไป

แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่โดยทั่วไปไม่พบในรูปของแคดเมียมบริสุทธิ์ แต่มักพบในรูปของสารประกอบของเกลือ เช่น แคดเมียมซัลเฟต (Cadmium sulfate, $CdSO_4$), แคดเมียมไนเตรต

(Cadmium nitrate, $CdNO_3$), แคดเมียมคลอไรด์ (Cadmium chloride, $CdCl_2$) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีและละลายได้ดีในน้ำ และแคดเมียมยังสามารถรวมตัวกับสารประกอบอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะเมื่อรวมกับไซยาไนด์ (Cyanides) และเอมีน (Amines)

ปัจจุบันโลหะแคดเมียมเป็นโลหะที่ใช้มากเนื่องจากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ใช้อาบเหล็กและเหล็กกล้า เพื่อป้องกันสนิมใช้ผสมทองแดงทำลวดตัวนำไฟฟ้า ผสมอลูมิเนียมใช้ในการหล่อ ผสมกับเงินไม่ให้ดำง่าย ใช้แทนดีบุกทำโลหะบัดกรีที่สำคัญคือ ใช้กันมากในอุตสาหกรรมสร้างฝาประกบเพลารถยนต์ยังพบในอุตสาหกรรมชุบสังกะสี ใช้แคดเมียมผสมกับโลหะอื่น เพื่อเพิ่มความเหนียวและทนทานต่อการสึกกร่อน ใช้ทำแบตเตอรี่อัลคาไลท์ โดยการใช้ร่วมกับนิกเกิล ใช้ทำเม็ดสี พลาสติก ยาง หมึกพิมพ์ ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู เป็นตัวควบคุมอัตราการแตกตัวของสารกัมมันตรังสี ใช้ในกิจการถ่ายรูป ใช้ในเครื่องแปลงไฟฟ้า ใช้ทำที่ดีดปลั๊กนิรภัยหม้อไอน้ำ และฟิวส์ไฟฟ้า ใช้ประกอบทำสารกำจัดแมลงบางชนิด พบใช้ในลวดเงินเชื่อมด้วย และแหล่งที่มีแคดเมียมมากอีกแหล่งคือ การทำเหมืองแร่ และกาวหลอมโลหะ เช่น ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี และอื่น ๆ

ผู้ที่มีโอกาสสัมผัสหรือเสี่ยงกับสารชนิดนี้ ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงานที่ทำงานประจำใกล้ชิดกับโลหะแคดเมียมซึ่งมักพบได้เสมอในโรงงานที่ผลิตแบตเตอรี่หรือเตรียมสีต่าง ๆ จะมีโอกาสเสี่ยงต่อความเป็นพิษแคดเมียม ซึ่งพอจำแนกกลุ่มผู้ทำงานที่เสี่ยงต่อการเกิดพิษแคดเมียมได้ดังนี้ งานไฟฟ้า งานเหมืองแร่ งานเชื่อมโลหะ งานสี งานผลิตแบตเตอรี่อัลคาไลน์ งานหลอมโลหะ งานชุบสังกะสี และงานอื่น ๆ

จากการที่แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภคที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้โลหะแคดเมียมเกิดการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมบรรยากาศและในอาหาร ทำให้เราได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่ายกายได้หลายทางโดยไม่รู้ตัว คนทั่วไปจะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจากอาหารที่บริโภคเข้าไปเป็นหลัก โดยอาจติดปะปนมากับพืชผัก ผลไม้ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่นำมาปรุงเป็นอาหาร แคดเมียมอาจละลายอยู่ในน้ำที่เราดื่ม และได้รับจากอากาศโดยการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่นแคดเมียมฟุ้งกระจายอยู่ โดยเฉพาะในแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียมเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่ หรือ บริเวณที่เป็นเหมืองแร่ สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง ที่มักมีแคดเมียมปนอยู่ด้วย การสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมเป็นส่วนประกอบและการอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในอากาศนานๆ จะทำให้แคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายเราได้อีกด้วย สำหรับผู้ที่สูบบุหรี่จัดจะทำให้ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น ปริมาณ

แคดเมียมทั้งหมดในร่างกายครึ่งหนึ่งจะไปสะสมอยู่ที่ตับและไต ทำให้เกิดพิษสะสมอยู่ได้ในคน การขับแคดเมียมที่ร่ายกายดูดซึมเข้าไปแล้วออกจากร่างกายดูดซึมเข้าไปแล้วออกจากร่างกายเป็นไปค่อนข้างช้ามาก เพราะวงจรครึ่งชีวิตของแคดเมียมในคนค่อนข้างยาว 16-33 ปี

ความเป็นพิษของแคดเมียม

โดยความเป็นพิษของแคดเมียม แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน และแบบเรื้อรัง ดังนี้

1 ความเป็นพิษเฉียบพลัน (เขมชิต ธนากิจชาญเจริญ, นงนาถ เมฆรังสิมันต์ และสุรชัย ศิลามณีโชติ, 2551) แบ่งเป็น

1.1 ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อร่ายกายได้รับแคดเมียมโดยการกินซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อนหรือบรรจุในภาชนะที่เคลือบด้วยแคดเมียม อาการที่ปรากฏเริ่มแรกคือ รู้สึกคลื่นเหียนอย่างรุนแรง อาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากอาจเกิดอาการช็อค เนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมาก ระบบการทำงานของไตล้มเหลวและอาจถึงตายได้

1.2 ความเป็นพิษต่อระบบหายใจ การสูดหายใจเอาไอของแคดเมียมเข้าไปทำให้เกิดการระคายเคืองที่หลอดลม ปอด จมูก ลำคอ และยังทำให้เกิดอาการไอ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก

2 ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง ความเป็นพิษจากแคดเมียมที่เกิดกับคนส่วนใหญ่เป็นแบบชนิดเรื้อรัง ซึ่งเกิดจากการที่ร่ายกายได้รับแคดเมียมเข้าไปเป็นเวลานานติดต่อกัน (เขมชิต ธนากิจและคณะ, 2551) ได้แก่

2.1 ความเป็นพิษต่อปอด ในคนที่หายใจเอาฝุ่นหรือไอ (fume) ของแคดเมียมเข้าไป ติดต่อกันเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดการบวม หรือพองของเนื้อเยื่อปอด

2.2 ความเป็นพิษต่อไตความเป็นพิษที่กระดูก

2.3 ความเป็นพิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจและระบบการสร้างเม็ดเลือดโลหิต

2.4 ความเป็นพิษต่อตับ

2.5 จากการทดลองในสัตว์ พบว่าแคดเมียมยังเป็นสารก่อมะเร็ง

โดยโรคสำคัญที่มองข้ามไม่ได้คือ โรคพิษแคดเมี่ยม เป็นโรคที่เกิดจากร่างกายได้รับแคดเมี่ยม และแคดเมี่ยมได้ทำลาย ไต กระดูก ระบบเลือด ปอด กระเพาะปัสสาวะ และอวัยวะอื่น ๆ โดยมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โรคอิไต อิไต (itai itai) ซึ่งเป็นโรคที่มีอาการปวดในกระดูกมากเป็นสำคัญ โดยทำให้กระดูกเสื่อม เสียรูปและมีอาการร่วมอื่นอีกมาก ได้แก่ อาการเพลีย น้ำหนักลด คลื่นไส้อาเจียน ไอเรื้อรัง มีวงสีเหลือง (Yellow ring) ที่ฟัน มีภาวะเลือดจาง เกิดความดันโลหิตสูง ทำให้เกิดภาวะเส้นเลือดอักเสบ และแคดเมี่ยมยังทำให้เกิดมะเร็งของต่อมลูกหมากได้ (http://www.trclabourunion.com/disease19.htm, 15 กุมภาพันธ์ 2554)

นอกจากนี้พบว่าอันตรายจากแคดเมียมไม่ได้ทำให้เกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิตแบบเฉียบพลันและเรื้อรังเท่านั้น แต่ยังก่อให้เกิดอันตรายในรูปแบบอื่นอีก เช่น ในรูปฝุ่นละอองจะทำให้เกิดไฟได้ถ้าถูกความร้อน เปลวไฟ หรือทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์ หรือ โลหะ เช่น zinc, tellurium และ NH_3 และอาจเกิดการระเบิดได้ถ้าสารประกอบแคดเมียมในรูปของฝุ่นเจอกับเปลวไฟ (ฝ่ายจัดการสารพิษ กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2545)

Zero discharge

การทำ zero discharge หรือการไม่ทิ้งน้ำ เป็นแนวคิดใหม่ซึ่งเริ่มมีบทบาทกับภาคอุตสาหกรรมเมื่อไม่นานมานี้ ใจความสำคัญคือ แนวทางการจัดการน้ำใช้และน้ำเสียภายในโรงงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพ และไม่มีการระบายน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วออกสู่แหล่งน้ำ โดยในทางปฏิบัติมีหลายรูปแบบ เช่น การนำกลับมาทำน้ำหล่อเย็น หรือการนำมารดน้ำต้นไม้ในบริเวณพื้นที่โรงงาน เป็นต้น (http://www.nidambe11.net/ekonomiz/2011q1/2011_January13p3.htm, 15 กุมภาพันธ์ 2554)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิชิต พงษ์สกุล สุรทิน แก้วโรจน์ และ สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์ (2543) ได้ทำการศึกษาการดูดซับแคดเมียมในดินที่เก็บจากท้องที่ต่างๆ โดยการเขย่าดินในสารละลาย 0.01 โมลาร์ $CaCl_2$ ซึ่งมี $CdCl_2$ ละลายอยู่ในอัตรา 0, 2, 4, 8 และ 16 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อลิตร ผลการศึกษาแสดงว่าความสามารถในการดูดซับหรือความสามารถในการด้านทางการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

(buffering capacity) ของแคดเมียมแตกต่างกันมากในแต่ละตัวอย่างดินตั้งแต่ต่ำสุดคือ 37.44 หน่วยในดินที่จัดอยู่ในกลุ่มดินย่อย Typic Tropaquults จนถึงสูงสุดคือ 1133 หน่วยในดิน ที่จัดอยู่ในกลุ่มดินย่อย Typic Calciustolls ความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของดินสูงขึ้นเมื่อดินมีค่าความเป็นกรด-เบส อินทรียวัตถุและปริมาณดินเหนียวมากขึ้น ปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับ (absorbed cadmium) แตกต่างกันมากในดินแต่ละตัวอย่าง โดยมีค่าต่ำสุดคือ 1.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในดินที่จัดอยู่ในกลุ่มดินย่อย Typic Tropaquults และค่าสูงสุดคือ 110.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในดินที่จัดอยู่ในกลุ่มดินย่อย Typic calciustolls ปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับมากขึ้นเมื่อดินมีค่าความเป็นกรด-เบส อินทรียวัตถุและปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงขึ้น เช่นเดียวกับความสามารถในการดูดซับแคดเมียม

ปภามญชุ์ ซีประเสริฐ พัฒนา อนุรักษ์พงศธร และ สิรินาฎ เลาหะโรจนพันธ์ (2554) ได้ทำการศึกษาการดูดซับและการปลดปล่อยแคดเมียมด้วยดินจากนาข้าว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เพื่อประเมินความสามารถในการเคลื่อนย้ายและการแพร่กระจายของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม ซึ่งศึกษาการดูดซับแคดเมียมในดินจากตำบลแม่กุ ซึ่งมีเนื้อดินเป็น Clay Loam และศึกษาการปลดปล่อยของแคดเมียมจากดินตำบลพระธาตุ ซึ่งมีเนื้อดินเป็น Sandy Clay Loam และศึกษาจากดินที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร ซึ่งดินทั้ง 2 อย่างนี้ มีปริมาณแคดเมียมสะสมอยู่ก่อนแล้ว โดยใช้สมการการดูดซับแบบฟรุนดลิชในการอธิบายพฤติกรรมการดูดซับ เนื่องจากรูปแบบการดูดซับ และการปลดปล่อยแคดเมียมสอดคล้องกับการดูดซับแบบฟรุนดลิช ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์จากการดูดซับ (K_F) เท่ากับ 29.402

พรเพ็ญ มีทองมูล (2545) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักสามชนิด ได้แก่ อาร์เซนิค แคดเมียม และตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการใช้ดินเบาเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าตะกั่วเป็นโลหะหนักที่ถูกดูดซับไปได้เร็วที่สุด รองลงมาคือแคดเมียมและอาร์เซนิคตามลำดับ ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโลหะหนักทั้งสามชนิดพบว่าอาร์เซนิคและตะกั่วมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ สำหรับแคดเมียมมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช

Chusai (2006) ได้ทำการศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยพบการปนเปื้อนของแคดเมียมในข้าวและน้ำสูงกว่าค่ามาตรฐาน ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์แคดเมียมด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer โดยค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการสะสมของแคดเมียมในดินประกอบด้วย ค่าความเป็นกรด-เบส, ค่า Oxidation Reduction Potential และปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และพบว่าดินที่มีค่าความเป็น

กรด-เบสของดินมาก จะมีปริมาณแคดเมียมในดินมาก และดินที่มีค่าความเป็นกรด-เบสของดินน้อยจะมีแคดเมียมในดินน้อย

Chibsa และ Ta (2009) ได้ทำการศึกษาอินทรียคาร์บอนในดินที่ระดับความลึกต่างๆ ของประเทศเอธิโอเปีย พบว่า ดินที่มีอินทรีย์คาร์บอนสูง (Higher soil organic carbon) คือดินที่ความลึก 0-5 เซนติเมตร

Ying, Yanyu และ Qixing (2009) ได้ทำการศึกษาการดูดซับและการปลดปล่อยแคดเมียมและ tetracycline ใน cinnamon soil โดยวางแผนการทดลองแบบ batch experiments โดยพบว่าการดูดซับและการปลดปล่อยแคดเมียมและ tetracycline ขึ้นกับคุณสมบัติของดินนั้น และแบบจำลองสมดุลดูดซับแบบฟรุนดลิชเหมาะสมต่อการอธิบายการดูดซับแคดเมียม

Abumaizar และ Smith (1999) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักในดิน เป็นการทดลองในคอลัมน์และใช้ตัวทำละลายต่างๆ ดังนี้ ethylenedi-aminetetraacetic acid (Na_2EDTA), sodium metabisulfite ($Na_2S_2O_5$) และ สารผสมระหว่าง ethylenedi-aminetetraacetic acid (Na_2EDTA), sodium metabisulfite ($Na_2S_2O_5$) และในคอลัมน์ประกอบด้วยดินที่แช่ในน้ำปราศจากไอออน การที่ใช้น้ำปราศจากไอออนนี้พบว่าพันธะระหว่างแคดเมียมกับดินจะมีพันธะยึดเหนี่ยวกับแคดเมียมที่อ่อนมาก ประมาณ 70 % ของแคดเมียมในตัวอย่างดิน

จากงานวิจัยในข้างต้น พบว่ามีการศึกษาการดูดซับแคดเมียม โดยใช้แบบจำลองสมดุลดูดซับแบบฟรุนดลิชในการอธิบายพฤติกรรมการดูดซับ งานวิจัยนี้จึงใช้แบบจำลองสมดุลดูดซับแบบฟรุนดลิชในการอธิบายพฤติกรรมการดูดซับ